

明細書

光ファイバ及びそれを含む光伝送システム
技術分野
この発明は、光通信における伝送路に適用可能な光ファイバ、及び該光ファイバを含む光伝送システムに関するものである。

背景技術

従来から光通信における伝送路として、主に、1. 3 μm 波長帯 (1.280 nm ~ 1.320 nm) に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバが利用されてきた。このような光ファイバの主材料 (シリカ) に起因した伝送損失は、1. 55 μm 波長帯 (1.530 nm ~ 1.565 nm) で最小となることが知られており、加えて、Er添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器は、1. 55 μm 波長帯の光を高効率に增幅することができる。このような理由から、1. 55 μm 波長帯に零分散波長を有するよう設計された分散シフト光ファイバが、複数波長の信号光を伝送する波長分割多重 (WDM : Wavelength Division Multiplexing) 通信における伝送路に適用されている。なお、信号光を送出する光源については、従来から 1. 3 μm 波長帯の光や 1. 55 μm 波長帯の光の出力を可能なするデバイス技術が確立されている。

発明の開示

発明者らは、上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、1. 55 μm 波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバを光伝送路として、1. 3 μm 波長帯の信号光を伝送する場合、分散の絶対値が大きくなることから広帯域でWDM通信を行うことができない。また、このような分散シフト光ファイバで 1. 55 μm 波長帯の信号光を伝送する場合、分散の絶対

値が小さくなりすぎることから非線形光学現象の 1つである四光波混合が発生し易くなる。一方、1. 3 μm 波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバを光伝送路として、1. 3 μm 波長帯の信号光を伝送する場合も、分散の絶対値が小さくなりすぎることから非線形光学現象の 1つである四光波混合が発生し易くなる。また、このようなシングルモード光ファイバで 1. 55 μm 波長帯の信号光を伝送する場合には、分散の絶対値が大きくなることから広帯域でWDM通信を行うことができない。

これに対し、広い波長帯域に亘って分散の発生を抑える光ファイバの開発がみられている (例えば、K. Okamoto et al., "Zero total in single-mode optical fibers over an extended spectral range", Radio Science, Volume 17, Number 1, pages 31-36, January-February 1982 参照)。例えば、クラッド領域とコア領域との屈屈折率差を 2. 4 %と大きくし、かつコア領域の径を 3. 5 μm と小さくすることにより、広い波長帯域に亘って分散値の小さな光ファイバが提案されている。しかしながら、このようなクラッド領域とコア領域との屈屈折率差が非常に大きい光ファイバは製造が困難であり、伝送損失が大きい。一方で、コア領域の径が小さい光ファイバでは実効断面積が小さくなり、非線形光学現象も発生し易くなる。

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、1. 3 μm 波長帯の信号光及び 1. 55 μm 波長帯の信号光双方の効率的な伝送を可能にする光ファイバ及びそれを含む光伝送システムを提供することを目的としている。

この発明に係る光ファイバは、1. 3 μm 波長帯の信号光及び 1. 55 μm 波長帯の信号光双方の効率的な伝送を可能にする光ファイバであって、波長 1. 20 μm ~ 1. 60 μm の範囲に零分散波長を 1つのみ有し、該零分散波長において正の分散スローフを有する光ファイバである。なお、この零分散波長は、1. 3 μm 波長帯と 1. 55 μm 波長帯とに挟まれた、波長 1. 37 μm ~ 1. 50

μm の範囲に存在する。また、上記分散スロープは、上記零分散波長においてその絶対値が $0.10\text{ p s/nm}^2/\text{km}$ 以下(好ましくは波長 $1.55\mu\text{m}$ において $0.06\text{ p s/nm}^2/\text{km}$ 以下)であることが好ましく、少なくとも、波長 $1.30\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において単調に変化(例えば、単調増加)している。

このように、当該光ファイバは、OH吸収に起因した伝送損失の増加が認められる波長 $1.38\mu\text{m}$ を含む波長 $1.37\mu\text{m} \sim 1.50\mu\text{m}$ の範囲に零分散波長を有しているため、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯近傍及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯近傍ではある程度分散が発生する。したがって、これら $1.3\mu\text{m}$ 波長帯の信号光及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の信号光が伝搬する場合でも、当該光ファイバは、四光波混合は発生し難い構造を備える。

なお、增幅帯域が $1.47\mu\text{m}$ 波長帯にあるツリウム添加ファイバ増幅器を利

用する場合、零分散波長は、波長 $1.37\mu\text{m} \sim 1.43\mu\text{m}$ の範囲に設定されるのがより好ましい。OH吸収ピーク($1.38\mu\text{m}$)の裾に零分散波長を合わせることにより、さらに伝送域を広げることができる。一方、脱水処理等を施すことにより上記OH吸収ピークを低く抑え、波長 $1.38\mu\text{m}$ を含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、係る波長帯域において意図的に分散を発生させるべく、零分散波長を、波長 $1.45\mu\text{m}$ よりも大きく $1.50\mu\text{m}$ 以下の範囲に設定してもよい。

当該光ファイバにおいて、分散スロープは単調に増加とともに、その零分散波長における分散スロープの絶対値は $0.10\text{ p s/nm}^2/\text{km}$ 以下、好ましくは波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープが $0.06\text{ p s/nm}^2/\text{km}$ 以下であることから、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯における分散及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯における分散は均一化される。このとき、波長 $1.3\mu\text{m}$ における分散の絶対値、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散の絶対値は、いずれも $6\text{ p s/nm}/\text{km}$ 以上かつ $12\text{ p s/nm}/\text{km}$ 以下である。

以上のように、この発明に係る光ファイバは、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の双方において効率的な光通信を実現する。なお、シングルモードを保証する観点から、伝送路長が数百km以下でカットオフ波長が $1.3\mu\text{m}$ 以下である場合、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯それにおいて基底モード光のみが伝搬し得るので好ましい。また、比較的長距離(伝送路長が數km以下)の光伝送では、カットオフ波長の距離依存性を考慮すると、カットオフ波長は $1.45\mu\text{m}$ 以下(信号光波長よりも長い場合)でも実用上の問題はない。一方、曲げ損失を低減する観点では、カットオフ波長が $1.0\mu\text{m}$ を下回ると曲げ損失が著しく増加する場合がある。そのため、該カットオフ波長は $1.05\mu\text{m}$ 以上、さらには $1.30\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましい。

さらに、この発明に係る光ファイバは、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯において効率的な光伝送を可能にすべく、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、直徑 3.2 mm で巻かれたときに1ターン当たり 0.5 dB 以下、好ましくは 0.06 dB 以下となる曲げ損失を有するとともに、波長 $1.55\mu\text{m}$ において $4.5\mu\text{m}^2$ 以上、好ましくは $4.9\mu\text{m}^2$ よりも大きい実効断面積 A_{eff} を有する。また、当該光ファイバは、波長 $1.38\mu\text{m}$ におけるOH吸収に起因した伝送損失の増加量が $0.1\text{ dB}/\text{km}$ 以下である。特に、波長 $1.38\mu\text{m}$ におけるOH吸収に起因した伝送損失の増加量が $0.1\text{ dB}/\text{km}$ 以下であれば、該波長 $1.38\mu\text{m}$ 近傍の波長帯域を信号光波長帯域に利用することも可能である。この場合は、意図的に該波長 $1.38\mu\text{m}$ 近傍の波長帯域に分散を発生させるべく(四光波混合を抑制するため)、零分散波長を波長 $1.45\mu\text{m}$ よりも大きくかつ $1.50\mu\text{m}$ 以下の範囲内に設定してもよい。

なお、実効断面積 A_{eff} は、特開平8-248251号公報(EP0724171A2)に示されたように、以下の(1)式で与えられる。

$$A_{eff} = 2\pi \left(\int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2 / \left(\int_0^{\infty} E^4 r dr \right) \dots (1)$$

ここで、Eは伝搬光に伴う電界、rはコア中心からの径方向の距離である。

この発明に係る光ファイバは、純シリカ（故にには不純物が添加されていないシリカ）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が1%以下であつて最小値が-0.5%以上ある屈折率プロファイルを有する。このような屈折率プロファイルにおいて、例えばGe元素が添加された高屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は-0.5%以上であることから、製造（不純物添加による屈折率制御）が容易であることから、また、伝送損失を小さくすることが可能になる。なお、純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が-0.2%以上、より好ましくは-0.15%よりも大きいければ、当該光ファイバの製造を容易にする点でさらに好ましい。

上述のような諸特性を有する光ファイバは、種々の構成によつて実現できる。すなわち、当該光ファイバの第1構造は、所定軸に沿つて伸びた構造を有するコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域と、該により実現できる。この第1構造の光ファイバは、ディプレストクラッド構造をさらに備えてよい。ディプレストクラッド構造は、上記クラッド領域を、上記コア領域の外周に設けられ、該コア領域よりも低い屈折率を有する内側クラッドと、この内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつコア領域よりも低い屈折率を有する外側クラッドにより構成することにより実現される。

この発明に係る光ファイバは、純シリカ（故にには不純物が添加されていないシリカ）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が1%以下であつて最小値が-0.5%以上ある屈折率プロファイルを有する。このような屈折率プロファイルにおいて、例えばGe元素が添加された高屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は1%以下であり、例えばF元素が添加された低屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は-0.5%以上であることから、製造（不純物添加による屈折率制御）が容易であることから、また、伝送損失を小さくすることが可能になる。なお、純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が-0.2%以上、より好ましくは-0.15%よりも大きいければ、当該光ファイバの製造を容易にする点でさらに好ましい。

上述のような第3構造の適用により、特に波長1.55μmにおいて0.06 ps/nm²/km以下の低分散スローフを有する光ファイバが得やすくなる。

当該光ファイバの第4構造も、所定軸に沿つて伸びたコア領域と、該さらに、当該光ファイバの第4構造も、所定軸に沿つて伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、特に、該コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとを備える。この第4構造の光ファイバがディプレストクラッド構造を有する場合には、上記クラッド領域は、上記第2コアの外周に接しあつ該第2コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第2コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとして構成される。

当該光ファイバの第5構造は、所定軸に沿つて伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、特に、該コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとから構成される。この第2構造の光ファイバがディプレストクラッド構造を有する場合には、上記クラッド領域は、上記第2コアの外周に接しあつ該第2コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッド

を有する第4コアとからなるコア領域とを備える。この第5構様に光ファイバにおいて、上記クラッド領域は、上記第4コアよりも低い屈折率を有する。

この発明に係る光伝送システムは、上述のような構造を備えた光ファイバにより実現される。具体的に、この発明に係る光伝送システムは、1.3μm波長帯の第1光を出力する第1送信器と、1.55μm波長帯の第2の光を出力する第2送信器と、該第1送信器から出力された第1光及び該第2送信器から出力された第2光とを合波する合波器と、該第1合波器にその一端が光学的に接続された、上述の構造を備えた光ファイバとを、少なくとも備える。この構成により、当該光ファイバは、合波器により合波された第1光及び第2光それを伝送する。以上のような構成を備えた光伝送システムによれば、第1送信器から出力された1.3μm波長帯の第1光は、合波器を経て上記光ファイバに入射され、該光ファイバ内を受信系に向かって伝播する。一方、第2の送信器から出力された1.55μm波長帯の第2の光は、合波器を経て光ファイバに入射され、該光ファイバ内を受信系に向かって伝播する。光伝送路に適用される光ファイバは、上述のように、また、1.3μm波長帯及び1.55μm波長帯のいずれにおいても効率的な光通信を可能にすることにより、上述のような特殊構造を備えた光ファイバが適用されることにより、当該光伝送システムは大容量通信を可能にする。

図面の簡単な説明

図1Aは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフであり、図1Bは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

図2Aは、この発明に係る光ファイバの第1及び第13実施例の断面構造を示す図であり、図2Bは、図2Aに示された第1実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図3は、第2実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図4は、第3、第15及び第17実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図5は、第4実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図6は、第5、第16、第18、第19及び第21実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図7は、第6、第20及び第22実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図8は、第7及び第8実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図9は、第9及び第10実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図10は、第11及び第12実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図11は、図2B、図3～図10に示されたような種々の屈折率プロファイルを有する第1～第13実施例に係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。

図12は、第14～第22実施例に係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。

図13は、第1実施例に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

図14は、脱水処理が不十分であった第1実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。

図15は、脱水処理が十分に行われた第1及び第13実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。

図16は、脱水処理が不十分であった第13実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。

図17Aは、主に第18～第22実施例について、波長1.55μmにおける実効断面積Aeffと分散スロープとの関係を示すグラフであり、図17Bは、主

な実施例について、波長1.55μmにおけるカットオフ波長入Cと直径3.2mmで曲げられたときの1ターン当たりの曲げ損失との関係を示すグラフである。

図18Aは、この発明に係る光伝送システムの概略構成を示す図であり、図18Bは、この発明に係る光伝送システムの変形例を示す図である。

5 発明を実施するための最も良の形態

以下、この発明に係る光ファイバ及び光伝送システムの各実施例を、図1A～図2B、図3～16、及び図17A～図18Dを用いて説明する。なお、図面中の同一要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

10 まず、図1Aは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフであり、図1Bは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

この発明に係る光ファイバは、零分散波長を波長1.20μm～1.60μmの範囲に1つのみ有し、該零分散波長が波長1.37μm～1.50μmの範囲内に存在する。図1Aのグラフに示されたように、OH吸収に起因した伝送損失が波長1.38μm付近で発生する（例えば、KAZUHIRO NOGUCHI et al. ,

"Loss Increase for Optical Fibers Exposed to Hydrogen Atmosphere" , JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. LT-3, NO. 2, APRIL 1985 参照）、この発明波長近傍の信号光の光通信への利用は必ずしも好ましくない。そこで、この発明に係る光ファイバでは、図1Bに示されたように、OH吸収に起因した伝送損失が生じる波長1.38μmを含む波長1.37μm～1.43μmの範囲内に零分散波長が設定され、逆に、該波長範囲を挟む1.3μm波長帯近傍及び1.55μm波長帯近傍への零分散波長の設定が避けられている。なお、波長1.38

20 μmを含むこの波長帯を信号光波長帯として利用する場合には、零分散波長を1.45μmよりも大きくかつ1.50μm以下の範囲内に設定してもよい。このように、この発明に係る光ファイバは、零分散波長を含む所定の波長帯域を避

けた1.3μm波長帯及び1.55μm波長帯が信号光波長帯域として利用されることにより、これら波長帯域において意図的に分散を生じさせ、逆に四光波混合の発生を効果的に抑制している。上述のように、1.37μm～1.43μmの範囲内に零分散波長を設定すると、増幅帯域が1.47μm波長帯にあるツリ

5 ム添加ファイバ増幅器を利用するによりさらに伝送帯域を広げることがができる。一方、脱水処理等を施すことにより上記OH吸収ピークを低く抑え、波長1.38μmを含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、係る波長帯域において意図的に分散を発生させるべく、零分散波長を波長1.45

よりも大きく1.50μm以下の範囲に設定してもよい。

また、この発明に係る光ファイバは、上記零分散波長における分散スローブの絶対値が0.10ps/nm²/km以下（好ましくは波長1.55μmにおいて0.06ps/nm²/km以下）であり、1.3μm波長帯及び1.55μ

m波長帯における分散の均一化が実現できる。このとき、当該光ファイバでは、波長1.3μmにおける分散D_{1,3}の絶対値、及び波長1.55μmにおける分散D_{1,65}の絶対値それぞれが、6ps/nm/km以上12ps/nm/km以下である。1.3μm波長帯に零分散波長を有する標準的なシングル

10 モード光ファイバの、1.55μm波長帯における分散値が17ps/nm/km程度であることを考慮しても、1.3μm波長帯及び1.55μm波長帯それにおける当該光ファイバの分散の絶対値は十分小さい（12ps/nm/km以下）、光通信の利用により適している。一方、これら波長帯域では適度に分散が発生する（6ps/nm/km以上）、四光波混合の発生を効

20 に避けることができる。

さらに、この発明に係る光ファイバは、伝送路長が数百m以下でカットオフ波長が1.3μm以下であるのがシングルモードを保証する観点から好ましい。この場合、1.3μm波長帯及び1.55μm波長帯それにおいて基底モード光のみが伝播し得る。比較的長距離（伝送路長が数km以下）の伝送では、カット

25 の場合、この発明に係る光ファイバは、零分散波長を含む所定の波長帯域を避

トオフ波長の距離依存性を考慮すると、カットオフ波長は $1.45 \mu\text{m}$ 以下でもよい。なお、この明細書において、カットオフ波長は CCITT 規格に規定されているように、長さ 2m の光ファイバを半径 140mm で 1ターン だけ巻いた状態で測定された LP 11 モードのカットオフ波長である。また、曲げ損失を低減する観点では、カットオフ波長が $1.0 \mu\text{m}$ を下回ると、曲げ損失が著しく増加する場合がある。そのため、該カットオフ波長は $1.05 \mu\text{m}$ 以上、さらには $1.30 \mu\text{m}$ 以上であるのが好ましい。

以上のように、この発明に係る光ファイバは、 $1.3 \mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55 \mu\text{m}$ 波長帯の双方を避けた波長範囲に零分散波長を設定し、かつ各波長帯における分散値の小さなシングルモード光ファイバであるため、複数の波長帯域を利用した光通信システムの伝送媒体に適している。

この発明に係る光ファイバは、波長 $1.30 \mu\text{m}$ ~ $1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散スローフが単調に変化するのが好ましい（図 1 B に示されたケースでは半調増加）。この場合、波長 $1.20 \mu\text{m}$ ~ $1.60 \mu\text{m}$ の範囲内に零分散波長を 1 つのみ設定することができる、加えて、 $1.3 \mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55 \mu\text{m}$ 波長帯それぞれにおける分散が零に近づくことがない点でも好ましい（分散が零に近づくと非線形光学現象が生じ易くなる）。

この発明に係る光ファイバは、直径 3.2mm で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失が $0.5 \text{dB}/\text{ターン}$ 以下、さらには $0.06 \text{dB}/\text{ターン}$ 以下であるのが好ましい。この場合、曲げ損失が十分に小さいので、ケーブル化等に起因した損失増加を効果的に抑制することができる。なお、この曲げ損失 (d B/ターン) は、直径 3.2mm のマンドレル (mandrel) に巻き付けられた光ファイバについて、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の光の伝送損失を 1ターン 当たりの損失値に換算した値である。

この発明に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} が $4.5 \mu\text{m}^2$ 以上、さらには $4.9 \mu\text{m}^2$ よりも大きいことが好ましい。この値は、 $1.$

5 μm 波長帯に零分散波長を有する従来の分散シフト光ファイバにおける実効断面積と同等以上であり、単位断面積当たりの光強度が小さくなるので、四光波混合等の非線形光学現象の発生が効果的に抑制される。

この発明に係る光ファイバは、波長 $1.38 \mu\text{m}$ における OH 吸収に起因した伝送損失の増加量 α が $0.1 \text{dB}/\text{km}$ 以下であることが好ましい。光通信に適用可能な波長帯域が広くなり、さらに大容量光通信が可能となるからである。なお、波長 $1.38 \mu\text{m}$ を含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、非線形光学現象の発生を抑制するため、該波長帯域を避けた波長 $1.45 \mu\text{m}$ も大きくかつ波長 $1.50 \mu\text{m}$ 以下の範囲内に零分散波長を設計するのが好ましい。

この発明に係る光ファイバは、純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が 1% 以下であつて最小値が -0.5% 以上である屈折率プロファイルを有するのが好ましい。例えば Ge 元素が添加される高屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は 1% 以下であつて、例えば F 元素が添加される低屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は -0.5% 以上であるので、製造が比較的容易であり、また、伝送損失の小さな光伝送媒体が得られる。なお、より製造を容易にするためには、純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値は -0.2% 以上、より好ましくは -0.1% 以上で大きいことが好ましい。

次に、この発明に係る光ファイバの第 1 ~ 2 2 実施例を図 2 A、図 2 B、及び図 3 ~ 図 10 を用いて説明する。

（第 1 実施例）

図 2 A は、第 1 実施例に係る光ファイバ 100 の断面構造を示す図であり、図 2 B は、図 1 A に示された光ファイバ 100 の屈折率プロファイルである。この第 1 実施例に係る光ファイバ 100 は、所定軸に沿って伸びた屈折率 n を有する外径 2 a のコア領域 110 と、該コア領域 110 の外周に設けられた屈折率 n

n_2 を (n_1) 有するクラッド領域 1 2 0 を備える。なお、コア領域 1 1 0 の屈折率は、クラッド領域 1 2 0 の屈折率よりも大きい。コア領域 1 1 0 の外径 2 a は $5 \cdot 2 \mu\text{m}$ あり、クラッド領域 1 2 0 を基準としたコア領域 1 1 0 の比屈折率差 Δ は $0 \cdot 5 \%$ である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、コア領域 1 1 0 に Ge 元素を添加することにより得られる。

図 2 B に示された屈折率プロファイル 1 5 0 の横軸は、図 2 A 中の線 L に沿った、コア領域 1 1 0 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図 2 B の屈折率プロファイル 1 5 0 において、領域 1 5 1 はコア領域 1 1 0 の線 L 上の各部位における屈折率、領域 1 5 2 はクラッド領域 1 2 0 の線 L 上の各部位における屈折率をそれぞれ示している。

なお、最外郭のクラッド領域 1 2 0 に対するコア領域 1 1 0 の比屈折率差 Δ_1 は、以下のように定義される。

$$\Delta_1 = (n_1 - n_2) / n_2$$

ここで、 n_1 はコア領域 1 1 0 の屈折率、 n_2 はクラッド領域 1 2 0 の屈折率である。また、この明細書では、比屈折率差 Δ は百分率で表示されており、上記定義式における各領域の屈折率は順不同である。したがって、 Δ が負の値の場合、対応する領域の屈折率はクラッド領域 1 2 0 の屈折率よりも低いことを意味する。

この第 1 実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1 \cdot 44 \mu\text{m}$ であり、波長 $1 \cdot 20 \mu\text{m} \sim 1 \cdot 60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0 \cdot 060 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1 \cdot 55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0 \cdot 054 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長が $0 \cdot 96 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1 \cdot 30 \mu\text{m} \sim 1 \cdot 55 \mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長 $1 \cdot 20 \mu\text{m}$ における分散が $-18 \cdot 5 \text{ ps/nm}/\text{km}$ 、波長 $1 \cdot 30 \mu\text{m}$ における分散が $0 \cdot 6 \text{ ps/nm}/\text{km}$ 、波長 $1 \cdot 55 \mu\text{m}$ における分散が $6 \cdot 2 \text{ ps/nm}/\text{km}$ 、波長 $1 \cdot 60 \mu\text{m}$ における分散が $6 \cdot 2 \text{ ps/nm}/\text{km}$ である。

5 次に、図 3 は、第 2 実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第 2 実施例に係る光ファイバの基本構造は、図 2 A に示された第 1 実施例に類似しており、図 2 A に示されたクラッド領域 1 2 0 がティアレストクラッド構造を有する点が第 1 実施例と異なっている。図 2 A を参照して説明すると、第 2 実施例に係る光ファイバは、屈折率 n_1 を有する外径 2 a のコア領域 1 1 0 と、該領域 1 1 0 の外周に設けられたクラッド領域 1 2 0 を備えている。該クラッド領域 1 2 0 は、コア領域 1 1 0 に接して設けられた屈折率 n_3 ($< n_1$) を有する外径 2 b の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率 n_2 ($< n_1, > n_3$) を有する外側クラッドにより構成されている。なお、コア領域 1 1 0 の外径 2 a は $5 \cdot 2 \mu\text{m}$ であり、内側クラッドの外径 2 b は $10 \cdot 9 \mu\text{m}$ である。また、外側クラッド領域の屈折率 n_2 を基準とした、コア領域の比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_2) / n_2$) は $0 \cdot 55\%$ 、内側クラッドの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_2) / n_2$) は $-0 \cdot 05\%$ である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、コア領域に Ge 元素が添加され、内側クラッドに F 元素が添加されることにより得られる。

図 3 に示された屈折率プロファイル 2 5 0 と図 2 A に示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル 2 5 0 の横軸は、図 2 A 中の線 L 上の各部位に相当している。したがって、図 3 の屈折率プロファイル 2 5 0 において、領域 2 5 1 はコア領域 1 1 0 の線 L 上の各部位における屈折率、領域 2 5 2 はクラッド領域 1 2 0 を構成する内側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率、領域 2 5 3 はクラッド領域 1 2 0 を構成する外側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率を、それ

それ示している。

この第2実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.46μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲内には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スローブは0.053ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スローブは0.049ps/nm²/km、カットオフ波長は0.93μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スローブは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-18.5ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-10.1ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が-0.5ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が4.3ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が6.7ps/nm/kmである。さらに、直徑3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.20dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は4.7～2μm²である。

(第3実施例)

図4は、第3実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第2実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例に類似しており、図2Aに示されたコア領域110が第1コアと第2コアと第1コアで構成された点が第1実施例と異なる。図2Aを参照して第3実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、光軸中心に最大屈折率n₁を有する外径2μの第1コアと、該第1コアの外周に設けられたつ屈折率n₂(< n₁)を有する外径2bの第2コアとを備える。第2コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率はn₃(< n₂)である。

図4に示された屈折率プロファイル350と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル350の横軸は、図2A中の線L₂に沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。

したがって、図4の屈折率プロファイル350において、領域351はコア領域110を構成する第1コアの線L₁上の各部位における屈折率、領域352はコア領域110を構成する第2コアの線L₂上の各部位における屈折率、領域353はクラッド領域120の線L₃上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、コア領域110を構成する第1コアの外径2aは6.4μmであり、第2コア領域の外径2bは16.0μmである。クラッド領域120の屈折率n₃を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 (=(n₁-n₃)/n₃)は0.60%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 (=(n₂-n₃)/n₃)は0.10%である。

ような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第2コアをそれぞれに適切な量のGe元素が添加されることにより得られる。この第3実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.42μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲内には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.079ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.070ps/nm²/km、カットオフ波長は1.19μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-20.8ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が2.1ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が9.3ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が12.8ps/nm/kmである。さらに、直徑3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.20dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は6.3.6μm²である。

(第4実施例)

図5は、第4実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第4実施例に係る光ファイバも、図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110

0とクラッド領域120を備える。ただし、クラッド領域120がティプレスト構造を備える点で上述の第3実施例と異なる。図2Aを参照して第4実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、第3実施例と同様に、コア領域110は、光軸中心に最大屈折率n₁を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率n₁(< n₁)を有する外径2bの第2コアとを備えている。クラッド領域120は、第2コアの外周に接して設けられた屈折率n₄(< n₂)を有する外径2cの内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率n₃(> n₄、< n₂)を有する外側クラッドを備える。

図5に示された屈折率プロファイル450と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル450の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図5の屈折率プロファイル450において、領域451はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域452はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域453はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域454はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第1コアの外径2aは6.3μm、第2コアの外径2bは16.1μm、内側クラッドの外径2cは28.8μmである。シリカの外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 (=(n₁-n₃)/n₃)は0.60%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 (=(n₂-n₃)/n₃)は0.10%、内側クラッドの比屈折率差 Δ_3 (=(n₄-n₃)/n₃)は-0.05%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第2コアそれぞれに適切な量のGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

この第4実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零

分散波長における分散スロープは0.081ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.070ps/nm²/km、カットオフ波長は1.15μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-20.3ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-9.9ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が3.1ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散が10.2ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が13.7ps/nm/kmである。さらに、直径32.0μmにおける波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.04dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は6.2.0μm²である。

(第5実施例)

図6は、第5実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第5実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例に類似しておらず、コア領域110とクラッド領域120から構成されている。図2Aに示された第5実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、クラッド領域120に囲まれたコア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率n₁(< n₁)を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率n₂(< n₁)を有する外径2bの第2コアと、該第2コアの外周に設けられた屈折率n₃(> n₂、< n₁)を有する外径2cの第3コアとを備える。第3コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率は、n₄(< n₁、< n₂)である。

図6に示された屈折率プロファイル550と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル550と図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図6の屈折率プロファイル550において、領域551はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域552はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域553はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域554はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第1コアの外径2aは6.3μm、第2コアの外径2bは16.1μm、内側クラッドの外径2cは28.8μmである。シリカの外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 (=(n₁-n₃)/n₃)は0.60%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 (=(n₂-n₃)/n₃)は0.10%、内側クラッドの比屈折率差 Δ_3 (=(n₄-n₃)/n₃)は-0.05%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第2コアそれぞれに適切な量のGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

この第4実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零

コア領域110を構成する第2コアの線L₁上の各部位における屈折率、領域155はコア領域110を構成する第3コアの線L₁上の各部位における屈折率、領域554はクラッド領域120の線L₁上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第1コアの外径2aは5.3μm、第2コアの外径2bは1.0.50μm、第3コア領域の外径2cは1.6.6μmである。クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 、($(n_1 - n_4) / n_4$)は0.58%、第2コアの比屈折率差は $n_2 = n_4$ に設定されているため0%、第3コアの比屈折率差 Δ_3 、($(n_3 - n_4) / n_4$)は0.14%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第3コアそれぞれに適切な量のGe元素を添加することにより得られる。

この第5実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.48μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.064ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.064ps/nm²/km、カットオフ波長は1.24μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-2.0.3ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-1.9ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が4.8ps/nm/km、波長1.11.9ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が-1.9ps/nm/kmにおける分散が4.8ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が8.0ps/nm/kmである。さらに、直径3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.0008dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は53.9μm²である。

(第6実施例)

図7は、第6実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第6実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例と同様にコ

ア領域110とクラッド領域120を備える。ただし、クラッド領域120がバイプレストクラッド構造を備えている点が第5実施例と異なる。図2Aを参照して第6実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率n₁を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率n₂を(< n₁)有する外径2bの第2コアと、該第2コアの外周に設けられた屈折率n₃を(< n₁、> n₂)有する外径2cの第3コアとを備える。バイプレストクラッド構造のクラッド領域120は、第3コアの外周に設けられた屈折率n₄、(< n₃)を有する外径2dの内側クラッドと内側クラッドの外周に設けられた屈折率n₅、(< n₃、> n₄)を有する外側クラッドとを備える。

図7に示された屈折率プロファイル650と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル650の横軸は、図2A中の線L₁に沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図7の屈折率プロファイル650において、領域651はコア領域110を構成する第1コアの線L₁上の各部位における屈折率、領域652はコア領域110を構成する第2コアの線L₁上の各部位における屈折率、領域653はコア領域110を構成する第3コアの線L₁上の各部位における屈折率、領域654はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L₁上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第1コアの外径2aは5.7μm、第2コアの外径2bは1.6.2μm、第3コア領域の外径2cは2.0μmであり、内側クラッドの外径2dは3.4.4μmである。また、外側クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 、($(n_1 - n_4) / n_4$)は0.50%、第2コアの比屈折率差は $n_2 = n_4$ に設定されているため0%、第3コアの比屈折率差 Δ_3 、($(n_3 - n_4) / n_4$)は0.16%、内側クラッドの比屈折率差 Δ_5 、($(n_5 - n_4) / n_4$)は-0.10%である。このよ

うな光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第3コアそれ自身に適切な量のGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

この第6実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.42μmであり、波長1.

20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零

分散波長における分散スロープは0.056ps/nm²/km、波長1.55

μmにおける分散スロープは0.052ps/nm²/km、カットオフ波長は1.23μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲

において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-1.6.4ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-7.9ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が1.6ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が6.6ps/nm/km、波長1.60

μmにおける分散が9.2ps/nm/kmである。さらに、直径32mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.02dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は57.1μm²である。

(第7及び第8実施例)

図8は、第7及び第8実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第7及び第8実施例は同じ構造を備え、いずれも図2Aに示された第1実

施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。図2Aを参照して

第7及び第8実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率n₁を有する外径2bの第1コアと、該第1コアの

外周に設けられた屈折率n₂を(>n₁)有する外径2aの第2コアを備える。第2コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率はn₃(< n₂)である。

図8に示された屈折率プロファイル750と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル750の横軸は、図2A中の線L

に沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図8の屈折率プロファイル750において、領域751はコア領域110を構成する第1コアの線L上での各部位における屈折率、領域752はコア領域110を構成する第2コアの線L上での各部位における屈折率、領域753はクラッド領域120の線L上での各部位における屈折率を、それぞれ示している。

なお、第7実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2bは2.8μm、第2コアの外径2bは5.6μmである。クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差△₁はn₁=n₃に設定されるため0%であり、第2コア領域の比屈折率差△₂=(n₂-n₃)/n₃)は0.7%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コアにGe元素を添加することにより得られる。

この第7実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.075ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.061ps/nm²/km、カットオフ波長は1.10μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-20.1ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-9.3ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が12.4ps/nm/kmである。さらに、直徑32mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.02dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は67.3μm²である。

(第7及び第8実施例)

図8は、第7及び第8実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第7及び第8実施例は同じ構造を備え、いずれも図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。図2Aを参照して第7及び第8実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率n₁を有する外径2bの第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率n₂を(>n₁)有する外径2aの第2コアを備える。第2コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率はn₃(< n₂)である。

一方、第8実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは3.2μm、第2コアの外径2bは6.4μmである。また、クラッド領域の屈折率を基

導とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 、($(n_1 - n_3) / n_3$)は-0.2%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 、($(n_2 - n_3) / n_3$)は0.7%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コアにF元素を添加し、第2コアにGe元素を添加することにより得られる。

この第8実施例に係る光ファイバの分散波長は1.42μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該等分散波長が1つのみ存在している。該等分散波長における分散スロープは0.084ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.068ps/nm²/km、カットオフ波長は1.17μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-22.9ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-11.1ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が2.4ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が9.9ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が13.2ps/nm/kmである。さらに、直径3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.2dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は79.1μm²である。

(第9及び第10実施例)

図9は、第9及び第10実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第9及び第10実施例は同じ構造を備え、いすれも図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。ただし、これら第9及び第10実施例は、クラッド領域120がティプレストクラッド構造備えている点で第7及び第8実施例と異なる。図2Aを参照して第9及び第10実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿つて伸びた屈折率 n_1 を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率 n_2 を(>n₁)有する外径2bの第2コアとを備える。ティプレストクラッド構造を備えるクラッド領域は、第2コアの外周に設けられた屈折率 n_4 、(<n₁)を有する外径2cの内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率 n_3 、(>n₄)を有する外側クラッドとを備える。

図9に示された屈折率プロファイル850と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル850の横軸は、図2A中の線Lに沿つた、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図9の屈折率プロファイル850において、領域851はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域852はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域854はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

なお、第9実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは3.8μm、第2コアの外径2bは7.1μm、内側クラッドの外径2cは10.6μmである。外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 はn₁＝n₃に設定しているため0%であり、第2コアの比屈折率差 Δ_2 、(＝(n₂－n₃)／n₃)は0.7%、内側クラッドの比屈折率差 Δ_3 、(＝(n₄－n₃)／n₃)は-0.2%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コアにGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

この第9実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.42μmであり、波長2.0μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.077ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.061ps/nm²/km、カットオフ波長は1.22μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-22.9ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-11.1ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が2.4ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が9.9ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が13.2ps/nm/kmである。さらに、直径3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.2dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は79.1μm²である。

おける分散が-21.6 ps/nm/km、波長1.45 μ mにおける分散が2.2 ps/nm/km、波長1.55 μ mにおける分散が9.1 ps/nm/km、波長1.60 μ mにおける分散が12.1 ps/nm²/kmである。さらに、直徑3.2 mで巻かれたときの波長1.55 μ mにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.2 dBであり、波長1.55 μ mにおける実効断面積A_{eff}は73.5 μ m²である。

一方、第10実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは2.6 μ m、第2コアの外径2bは6.4 μ m、内側クラッドの外径2cは9.6 μ mである。外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 、($= (n_1 - n_3) / n_3$)は-0.2%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 、($= (n_2 - n_3) / n_3$)は0.7%、内側クラッドの比屈折率差 Δ_3 、($= (n_4 - n_3) / n_3$)は-0.2%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コアにGe元素を添加し、第1コア及び内側クラッドそれぞれにF元素を添加することにより得られる。

この第10実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.44 μ mであり、波長1.20 μ m～1.60 μ mの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.070 ps/nm²/km、波長1.55 μ mにおける分散スロープは0.058 ps/nm²/km、カットオフ波長は1.18 μ mである。また、少なくとも波長1.30 μ m～1.55 μ mの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20 μ mにおける分散が-21.5 ps/nm/km、波長1.30 μ mにおける分散が-10.8 ps/nm/km、波長1.45 μ mにおける分散が0.7 ps/nm/km、波長1.55 μ mにおける分散が7.3 ps/nm/km、波長1.60 μ mにおける分散が10.1 ps/nm/kmである。さらに、直徑3.2 mで巻かれたときの波長1.55 μ mにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.

0.3 dBであり、波長1.55 μ mにおける実効断面積A_{eff}は59.6 μ m²である。

(第10及び第11実施例)

図10は、第11及び第12実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第9及び第10実施例は同じ構造を備え、いずれも図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。図2Aを参照して第11及び第12実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率n₁を有する外径2aの第1コア領域110と、該第1コアの外周に設けられた屈折率n₂、(>n₁)を有する外径2bの第2コアと、該第2コアの外周に設けられた屈折率n₃、(<n₂)を有する外径2cの第3コアと、該第3コアの外周に設けられた屈折率n₄、(<n₂、>n₃)を有する外径2dの第4コアとを備える。第4コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率はn₅、(<n₄)である。

図10に示された屈折率プロファイル950と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル950は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図10の屈折率プロファイル950において、領域951はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域952はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域953はコア領域110を構成する第3コアの線L上の各部位における屈折率、領域954はコア領域110を構成する第4コアの線L上の各部位における屈折率、領域955クラッド領域120の線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

なお、第11実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは2.7 μ m、第2コアの外径2bは5.4 μ m、第3コアの外径2cは8.1 μ mであり、第4コアの外径2dは10.8 μ mである。クラッド領域の屈折率を基準と

した、第1コアの比屈折率差 Δ_1 は $n_1 = n_3$ に設定されたため0%、第2コア領域の比屈折率差 Δ_2 （＝ $(n_2 - n_5) / n_5$ ）は0.8%、第3コアの比屈折率差 Δ_3 は $n_3 = n_5$ に設定されたため0%、第4コアの比屈折率差 Δ_4 （＝ $(n_4 - n_5) / n_5$ ）は0.1%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コア及び第4コアそれぞれにGe元素を添加することにより得られる。

この第11実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.42μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.080ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.065ps/nm²/km、カットオフ波長は1.16μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-21.8ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-21.8ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が-14.5ps/nm/kmである。さらに、直径3mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.4dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積Aeffは9.27μm²である。

(第13実施例)

この発明に係る光ファイバの第13実施例は、基本的に図2A及び図2Bに示されたような断面構造及び屈折率プロファイルを有する。ただし、この第13実施例に係る光ファイバは、シリカをベースにしてコア領域110を除くクラッド領域120との間に、相対的に屈折率の差を生じさせている点で第12例と異なる。

この第13実施例に係る光ファイバにおいて、純シリカ（屈折率n₀）のコア領域110の外径2aは5.6μmである。また、クラッド領域120の屈折率n₂（< n₀）を基準とした、コア領域110の比屈折率差 Δ_1 （＝ $(n_0 - n_2) / n_2$ ）は0.53%である。なお、この第13実施例では、コア領域110を

して、例えば、第2コア及び第4コアそれぞれにGe元素を添加し、第1コア及び第3コアそれにF元素を添加することにより得られる。

この第12実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。

該零分散波長における分散スロープは0.088ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.071ps/nm²/km、カットオフ波長は1.22μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-22.5ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-10.6ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が3.4ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が11.0ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が14.5ps/nm/kmである。さらに、直径3mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.4dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積Aeffは9.27μm²である。

純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）で構成したが、このコア領域110には、塩素が添加されたシリカであってもよい。

この第13実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。

該零分散波長における分散スロープは0.057ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.048ps/nm²/km、カットオフ波長は1.04μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-15.7ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-7.2ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が2.2ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が7.1ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が9.4ps/nm/kmである。さらに、直径3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.04dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は5.2.2μm²である。

加えて、この第13実施例に係る光ファイバは、波長1.55μmにおける伝送損失が0.17dB/kmであり、コア領域にGeが添加された実施例（波長1.55μmにおける伝送損失は0.20dB/km程度）と比較して、より低い損失の光ファイバである。

（第14実施例）

この発明に係る光ファイバの第14実施例は、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、波長1.55μmにおいて5.0μm²程度の実効断面積を有する。ただし、この第14実施例のプロファイル形状は、第1コアの屈折率（n₁）が半径方向に均一である点で第3実施例と異なる。

この第14実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率₁を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率n₂（<n₁）を

有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられた屈折率n₃（<n₂）を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第14実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは5.5μm、第2コアの外径2bは2.3.7μmである。また、クラッド領域の屈折率n₃を基準とした、第1コアの比屈折率差△₁（= (n₁-n₃) / n₃）は0.59%、第2コアの比屈折率差△₂（= (n₂-n₃) / n₃）は0.06%である。

この第14実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.065ps/nm²/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.055ps/nm²/km、カットオフ波長は1.25μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-1.6.8ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-7.7ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が8.5ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が11.2ps/nm/kmである。さらに、直径3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.0002dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は5.0.1μm²である。

（第15実施例）

この発明に係る光ファイバの第15実施例も、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、1.450nm近傍の零分散波長を有する。ただし、この第15実施例のプロファイル形状は、第1コアの屈折率（n₁）が半径方向に均一である点で第3実施例と異なる。

この第15実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率₁

1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられた屈折率 n_3 ($< n_2$) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第15実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは4.5 μm 、第2コアの外径2bは15.1 μm である。また、クラッド領域の屈折率 n_1 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_3) / n_3$) は0.65%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_3) / n_3$) は0.06%である。

この第15実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.46(1.457) μm であり、波長1.20 μm ~1.60 μm の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スローフは0.060 ps/nm²/km、波長1.55 μm における分散スローフは0.060 ps/nm²/km、波長1.55 μm の範囲において分散スローフは単調に増加しており、具体的には、波長5.5 μm における分散が-2.0.2 ps/nm/km、波長1.30 μm における分散が-11.1 ps/nm/km、波長1.45 mにおける分散が-0.6 ps/nm/km、波長1.55 μm における分散が5.7 ps/nm/km、波長1.60 μm における分散が8.7 ps/nm/kmである。さらに、直徑3.2 mmで巻かれたときの波長1.55 μm における曲げ損失は、1ターン当たり0.00006 dBであり、波長1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は45.3 μm^2 である。

(第16実施例)

この発明に係る光ファイバの第16実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するが、第2コアの屈折率 (n_2) がクラッド領域の屈折率 (n_4) よりも高く設定されている点、及び第1コアの屈折率プロファイルの形状がα系分布(図5に示されたようなドーム形状)である点で、該第5

実施例と異なる。

この第16実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、最大屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられた屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられた屈折率 n_3 ($> n_2$ 、 $< n_1$) を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられた屈折率 n_4 ($< n_3$) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第16実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは6.7 μm 、第2コアの外径2bは13.4 μm 、第3コアの外径2cは22.7 μm である。また、クラッド領域の屈折率 n_1 を基準とした、第1コアの比屈折率 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$) は0.60%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_4) / n_4$) は0.05%、第3コアの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_4) / n_4$) は0.11%である。

この第16実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.47 μm であり、波長1.20 μm ~1.60 μm の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スローフは0.065 ps/nm²/km、波長1.55 μm における分散スローフは0.065 ps/nm²/km、カットオフ波長は1.37 μm である。また、少なくとも波長1.30 μm ~1.55 μm の範囲において分散スローフは単調に増加しており、具体的には、波長1.20 μm における分散が-2.0.2 ps/nm/km、波長1.30 μm における分散が-11.1 ps/nm/km、波長1.45 mにおける分散が-0.6 ps/nm/km、波長1.55 μm における分散が5.7 ps/nm/km、波長1.60 μm における分散が8.7 ps/nm/kmである。さらに、直徑3.2 mmで巻かれたときの波長1.55 μm における曲げ損失は、1ターン当たり0.00006 dBであり、波長1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は6.2.6 μm^2 である。

(第17実施例)

この発明に係る光ファイバの第17実施例は、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、信号光波長よりも長いカットオフ波長を有する。

この第17実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($< n_2$)を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第17実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは7.5 μm 、第2コアの外径2bは2.9.0 μm である。また、クラッド領域の屈折率 n_3 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_3) / n_3$)は0.61%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_3) / n_3$)は0.10%である。

この第17実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.40 μm であり、波長1.20 μm ～1.60 μm の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.071 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長1.55 μm における分散スロープは0.059 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は1.78 μm である。また、少なくとも波長1.30 μm ～1.55 μm の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20 μm における分散が-1.7.4 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.30 μm における分散が-7.7 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.45 μm における分散が3.5 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.55 μm における分散が9.7 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.60 μm における分散が12.6 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径3.2 mmで巻かれたときの波長1.55 μm における曲げ損失は、1ターン当たり0.0002 dBであり、波長1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は60.3 μm^2 である。

統いて、図6及び図7に示されたようにコア領域が第1～第3コアから構成さ

れた3重構造の光ファイバについて、波長1.55 μm における分散スロープを有する複数の実施例について以下説明する。

(第18実施例)

この発明に係る光ファイバの第18実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。

この第18実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2, < n_1$)を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($= n_1$)を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第18実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2, < n_1$)を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($= n_1$)を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第18実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは5.5 μm 、第2コアの外径2bは2.2.8 μm 、第3コアの外径2cは3.4.6 μm である。また、クラッド領域の屈折率 n_4 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$)は0.48%、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_4) / n_4$)は0.12%である。

この第18実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41 μm であり、波長1.20 μm ～1.60 μm の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.058 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長1.55 μm における分散スロープは0.040 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は1.75 μm である。また、少なくとも波長1.30 μm ～1.55 μm の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20 μm における分散が-1.7.4 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.30 μm における分散が-7.7 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.45 μm における分散が3.5 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.55 μm における分散が9.7 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1.60 μm における分散が12.6 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径3.2 mmで巻かれたときの波長1.55 μm における曲げ損失は、1ターン当たり0.0002 dBであり、波長1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は60.3 μm^2 である。

統いて、図6及び図7に示されたようにコア領域が第1～第3コアから構成さ

/km、波長1. 55μmにおける分散が6. 8 ps/nm/km、波長1. 60μmにおける分散が8. 6 ps/nm/kmである。さらに、直徑3.2mmで巻かれたときの波長1. 55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0. 2dBであり、波長1. 55μmにおける実効断面積Aeffは5.7. 1μm²である。

5 (第19実施例)

この発明に係る光ファイバの第19実施例も、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第19実施例の屈折率プロファイルは、第2コアの屈折率(n₂)がクラッド領域の屈折率(n₄)よりも高く設定されている点で、該第5実施例や上述の第18実施例と異なる。

この第19実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率n₁を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n₂(< n₁)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率n₃(> n₂、< n₁)を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率n₄(< n₃)を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第19実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは6. 2μm、第2コアの外径2bは1.9. 9μm、第3コアの外径2cは2.8. 4μmである。また、クラッド領域の屈折率n₄を基準とした、第1コアの比屈折率差△₁(=(n₁-n₄)/n₄)は0. 44%、第2コアの比屈折率差△₂(=(n₂-n₄)/n₄)は0. 01%、第3コアの比屈折率差△₃(=(n₃-n₄)/n₄)は0. 13%である。

この第19実施例に係る光ファイバの零分散波長は1. 38μmであり、波長1. 20μm～1. 60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0. 065 ps/nm²/km、波長1. 55μmにおける分散スロープは0. 047 ps/nm²/km、カットオフ波長は1. 52μmである。また、少なくとも波長1. 30μm～1. 55μmの

範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1. 20μmにおける分散が-1.4. 5 ps/nm/km、波長1. 30μmにおける分散が-5. 4 ps/nm/km、波長1. 45mにおける分散が4. 4 ps/nm/km、波長1. 55μmにおける分散が9. 4 ps/nm/km、波長1. 60μmにおける分散が11. 7 ps/nm/kmである。さらに、直徑3.2mmで巻かれたときの波長1. 55μmにおける実効断面積Aeffは6.4. 5μm²である。

6

7 dBであり、波長1. 55μmにおける実効断面積Aeffは6.4. 5μm²である。

7 (第20実施例)

この免明に係る光ファイバの第20実施例は、図7に示された第6実施例と同様に、ティレストラッド構造の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第20実施例の屈折率プロファイルも上述の第19実施例と同様に第2コアの屈折率(n₂)がクラッド領域の屈折率(n₄)よりも高く設定されている。

この第20実施例に係る光ファイバは、上述の第6実施例と同様に、屈折率n₁(< n₁)を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n₂(< n₁)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率n₃(> n₂)を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率n₄(< n₃)を有するクラッド領域とを備えている。

なお、この第20実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域は、上述の第6実施例と同様に、屈折率n₁を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n₂(< n₁)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率n₃(> n₂)を有する第3コアとを備える。また、クラッド領域は、第3コアの外周に設けられかつ屈折率n₄(< n₃)を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率n₄(< n₃)を有する外側クラッドとを備え、これら内側及び外側クラッドによりティレストラッドにより構成されている。

なお、この第20実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは5. 6μm、第2コアの外径2bは1.9. 7μm、第3コアの外径2cは2.8. 1μm、内側クラッドの外径2dは4.2. 0μmである。また、外側クラッドの屈折率n₄を基準とした、第1コアの比屈折率差△₁(=(n₁-n₄)/n₄)は0.

55 %、第 2 コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_4) / n_4$) は 0. 01 %、第 3 コアの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_4) / n_4$) は 0. 16 %、内側クラッドの比屈折率差 Δ_5 ($= (n_5 - n_4) / n_4$) は -0. 05 % である。

この第 2 0 実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1. 40 μm であり、波長 1. 20 μm ～ 1. 60 μm の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。

該零分散波長における分散スロープは 0. 059 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 1. 55 μm における分散スロープは 0. 043 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は 1. 59 μm である。また、少なくとも波長 1. 30 μm ～ 1. 55 μm の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長 1. 20 μm における分散が -1.5. 8 $\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 1. 30 μm における分散が -6. 9 $\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 1. 45 μm における分散が 2. 7 ps/nm / μm 、波長 1. 55 μm における分散が 7. 4 $\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 1. 60 μm における分散が 9. 5 $\text{ps/nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 3.2 mm で巻かれたときの波長 1. 55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0. 001 d B であり、波長 1. 55 μm における実効断面積 A_{eff} は 50. 4 μm^2 である。

(第 2 1 実施例)

この発明に係る光ファイバの第 2 1 実施例は、図 6 に示された第 5 実施例と同様の屈折率プロファイルを有するともに、低分散スロープを有する光ファイバである。

この第 2 1 実施例に係る光ファイバは、上述の第 5 実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられた屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第 2 コアと、該第 2 コアの外周に設けられた屈折率 n_3 ($> n_2$, $< n_1$) を有する第 3 コアと、該第 3 コアの外周に設けられた屈折率 n_4 ($= n_2$) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第 2 1 実施例に係る光ファイバにおいて、第 1 コアの外径 2 a は 6.

1 μm 、第 2 コアの外径 2 b は 17. 8 μm 、第 3 コアの外径 2 c は 2.5. 4 μm である。また、クラッド領域の屈折率 n_4 を基準とした、第 1 コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$) は 0. 45 %、第 2 コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_4) / n_4$) に設定されているため 0 %、第 3 コアの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_4) / n_4$) は 0. 14 % である。

この第 2 1 実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1. 40 μm であり、波長 1. 20 μm ～ 1. 60 μm の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは 0. 057 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 5.5 μm における分散スロープは 0. 046 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は 1. 44 μm である。また、少なくとも波長 1. 30 μm ～ 1. 55 μm の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長 1. 20 μm における分散が -1.5. 2 $\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 1. 30 μm における分散が -6. 5 $\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 1. 45 μm における分散が 2. 7 ps/nm / μm 、波長 1. 55 μm における分散が 9. 8 $\text{ps/nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 3.2 mm で巻かれたときの波長 1. 55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0. 1 d B であり、波長 1. 55 μm における実効断面積 A_{eff} は 64. 4 μm^2 である。

(第 2 2 実施例)

この発明に係る光ファイバの第 2 2 実施例は、図 7 に示された第 6 実施例と同様に、ディプレストクラッド構造の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第 2 2 実施例の屈折率アイルでは、上述の第 2 0 実施例とは逆に第 2 コアの屈折率 (n_2) がクラッド領域の屈折率 (n_4) よりも低く設定されている。

この第 2 2 実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域は、上述の第 6 実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられた屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第 2 コアと、該第 2 コアの外周に設けられた屈折率 n_3 ($> n_2$, $< n_1$) を有する第 3 コアと、該第 3 コアの外周に設けられた屈折率 n_4 ($= n_2$) を有するクラッド領域とを備ける。

率 n_3 ($>n_2$, $< n_1$) を有する第 3 コアとを備える。また、クラッド領域は、第 3 コアの外周に設けられかつ屈折率 n_5 ($< n_3$, $> n_5$) を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($< n_3$, $> n_5$) を有する外側クラッドとを備え、これら内側及び外側クラッドによりディアプレストクラッド構造が構成されている。
 5 なお、この第 2.2 実施例に係る光ファイバにおいて、第 1 コアの外径 2 a は 6.0 μm 、第 2 コアの外径 2 b は 1.9. 7 μm 、第 3 コアの外径 2 c は 3.0. 0 μm 、内側クラッドの外径 2 d は 4.4. 8 μm である。また、外側クラッドの屈折率 n_4 を基準とした、第 1 コアの比屈折率差 Δ_1 (= $(n_1 - n_4) / n_4$) は 0.46 %、第 2 コアの比屈折率差 Δ_2 (= $(n_2 - n_4) / n_4$) は -0.05 %、第 3 コアの比屈折率差 Δ_3 (= $(n_3 - n_4) / n_4$) は 0.16 %、内側クラッドの比屈折率差 Δ_4 (= $(n_4 - n_4) / n_4$) は -0.05 %である。
 10 この第 2.2 実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1.39 μm であり、波長 1.20 μm ～1.60 μm の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。
 15 該零分散波長における分散スローフは 0.023 $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長は 1.66 μm である。また、少なくとも波長 1.30 μm ～1.55 μm の範囲において分散スローフは単調に増加しており、具体的には、波長 1.20 μm における分散が -1.4. 4 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.30 μm における分散が -5.7 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.45 μm における分散が 5.9 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.60 μm における分散が 7.0 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。さらに、直径 3.2 mm で巻かれたときの波長 1.55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.3 dB であり、波長 1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は 55.6 μm^2 である。
 20 25 図 1.1 は、上述の第 1～第 1.3 実施例それぞれに係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。また、図 1.2 は、上述の第 1.4～第 2.2 実施例それぞれに係る

光ファイバの諸特性をまとめた表である。これらの表に示されたように、第 1～第 2.2 実施例に係る光ファイバは何れも、波長 1.20 μm ～1.60 μm の範囲に零分散波長が 1 つのみ存在し、その零分散波長は波長 1.37 μm ～1.50 μm の範囲に存在している。特に、第 3～第 4、第 6～第 9、第 11～第 1.4 及び第 1.7～第 2.2 実施例では、零分散波長は波長 1.37 μm ～1.43 μm の範囲内にあり、第 2、第 5、第 1.5 及び第 1.6 実施例では、零分散波長は波長 1.45 μm よりも大きくかつ 1.55 μm 以下の範囲内にある。何れの実施例も、零分散波長における分散スローフの絶対値は 0.10 $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下であり、カットオフ波長は 1.3 μm 以下である。したがって、これら何れの光ファイバも、1.3 μm 波長帯及び 1.55 μm 波長帯には零分散波長が存在しない一方、これら各波長帯域における分散も小さく抑えられたシングルモードであるので、複数の波長帯域を利用して光通信に適している。なお、波長 1.5 μm において、第 1、第 2、第 6、第 1.3～第 1.5 及び第 1.8～第 2.2 実施例は、波長 1.55 μm における分散スローフが 0.06 $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下、特に第 1.8～第 2.2 実施例はさらに低い分散スローフを有する。
 5 また、第 1～第 2.2 実施例に係る光ファイバは何れも、波長 1.30 μm ～1.55 μm の範囲において分散スローフが単調に変化しており、波長 1.3 μm 及び波長 1.55 μm における分散の絶対値が 1.2 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以下である。したがって、これら何れの光ファイバも、1.3 μm 波長帯及び 1.55 μm 波長帯における分散の絶対値が、從来の 1.3 μm 波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバの波長 1.55 μm 波長帯における分散 7 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 程度) と比較して十分に小さい。仮に、光伝送システム全体として、上記標準的なシングルモード光ファイバの 1.55 μm 波長帯における分散値 (1.7 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$) まで許容可能であれば、第 1～第 2.2 実施例それに係る光ファイバは何れも、信号光波長帯域が 1.2 μm ～1.7 μm の範囲である光通信への利用に適している。

さらに、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、直徑3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失が、1ターン当たり0.5dB以下、特に、第1～第6、第11、第13～第17、第19及び第20実施例では、係る曲げ損失は0.06dB以下であり、ケーブル化等に起因する損失増加を効果的に抑制できる点で好ましい。また、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は4.9μm²、特に、第1、第3～第14及び第16～第22実施例の実効断面積A_{eff}は4.9μm²を越えており、従来の分散シフト光ファイバの実効断面積と比べて同等かそれ以上である。このため、当該光ファイバ中を伝搬する光の、単位断面積当たりの強度が小さくなるので、四光波混合等の非線形光学現象の発生が効果的に抑制される。

なお、図2B、図3～図10に示された光ファイバの屈折率プロファイル150～950は、上述の第13実施例を除き純シリカ（故意には不純物が添加されていらないシリカ）の基準領域（クラッド領域1.20、あるいは該クラッド領域1.20がティプレストレスクラッド構造を有する場合には外側クラッド）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が1%以下であって最小値が-0.5%以上である。第13実施例では、クラッド領域1.20にヒツツを添加することで、純シリカのコア領域ヒクラッド領域との屈折率の差を相対的に大きいた構成を備えるが、この実施例においてもクラッド領域1.20に対するコア領域1.10の比屈折率差の最大値は1%以下である。高屈折率領域は、例えばGe元素が添加されることにより実現されるが、その比屈折率差は1%以下であるので、当該光ファイバの製造（不純物添加による屈折率制御）が比較的容易であり、また、伝送損失が小さくなる。一方、低屈折率領域は、例えばF元素が添加されることにより実現されるが、その比屈折率差は-0.5%以上であるので、この点でも当該光ファイバの製造は容易である。

図13は、第1実施例に係る光ファイバの波長に対する分散特性を示すグラフ中、P1、P5、P7、P9、P10、P18～P22は、それぞれ第1、第

である。このグラフは単調に増加している。また、図14及び図15は、脱水において分散スロープは処理が不十分な場合と十分な場合の第1実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。このグラフに示されたように、波長1.38μmにおいてOH吸収に起因した伝送損失の増加が認められる。この図14に示されたような伝送損失特性を有する光ファイバでは、脱水処理が十分に行われておらずOH基の含有量が多いので、OH吸収に起因した伝送損失の増加は0.5dB/km程度である。一方、図15に示されたような伝送損失特性を有する光ファイバでは、脱水処理が十分に行われてOH基の含有量が低減されているので、OH吸収に起因した伝送損失の増加は0.01dB/km程度に抑えられている。なお、この波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、零分散波長を1.45μmよりも大きくかつ1.55μm以下の範囲内に設定することもできる。第2～第12及び第14～第22実施例に係る光ファイバそれぞれの波長に対する分散特性及び伝送損失特性も同様である。

また、図16は、脱水処理が不十分である第13実施例に光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。この第13実施例では、脱水処理が十分に行われていない場合、OH吸収に起因した伝送損失の増加（波長1.38μm）は0.3dB/kmである。ただし、この第13実施例の場合も、脱水処理が十分に行われれば、図14に示されたように波長1.3μmにおける伝送損失の増加（波長1.38μm）を0.01dB/km以下に抑えられる。

なお、この発明に係る光ファイバは、上記各実施例に限定されるものではなく、この発明の範囲内において他にも設計が可能種々の変形が可能であり、例えば、この発明の範囲内において他にも設計が可能である。

図17Aは、主に第18～第22実施例について、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}と分散スロープとの関係を示すグラフである。なお、このグラフ中、P1、P5、P7、P9、P10、P18～P22は、それぞれ第1、第

5、第7、第9、第10及び第18～第22実施例の実効断面積A_{eff}と分散スロープとの関係を示す点である。

このグラフからも分かるように、図6に示されたような屈折率プロファイルを有する光ファイバ(第18～第22実施例)の場合、波長1.55μmにおける分散スロープを特に低くすることができます。また、これら第18～第22実施例に係る光ファイバでは、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}が4.9μm²よりも大きくなっている。

さらに、図17Bは、主な実施例について、波長1.55μmにおけるカットオフ波長入cと直径3.2mmで曲げられたときの1ターン当たりの曲げ損失との関係を示すグラフである。なお、このグラフにおいて、P1、P3、P4、P6、P7、P10、P14～P16は、第1、第3、第4、第6、第7、第10及び第14～第16実施例のカットオフ波長入cと曲げ損失との関係を示す図である。また、このグラフ中、斜線部分は図6に示された屈折率プロファイルと類似している屈折率プロファイルを有する従来の光ファイバについて、カットオフ波長入cと曲げ損失との関係を示す点が集中的にプロットされたエリアである。したがって、係るエリア(斜線部分)を避けたためには、すなわち、波長1.55μmにおいて、3.2mmでの曲げ損失を1.0dB/ターン、好ましくは0.06dB/ターン以下にするためには、カットオフ波長入cは1.05μm以上、さらには1.3μm以上であるのが好ましい。

次に、この発明に係る光伝送システムの各実施例について説明する。図18Aは、この発明に係る光伝送システムの一実施例の概略構成を示す図である。この図に示された光伝送システムは、送信器11、12、光伝送路21、22、合波器30、光ファイバ40、分散器50、光伝送路61、62、及び受信器71、72を備えている。

送信器11は、1.3μm波長帯の信号光(第1光)を出力し、光伝送路21は、送信器11から出力された1.3μm波長帯の信号光を合波器30に導くた

めの伝送媒体であって、例えば、1.3μm波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバである。送信器12は、1.55μm波長帯の信号光(第2光)を出力し、光伝送路22は、送信器12から出力された1.55μm波長帯の信号光を合波器30に導くための伝送媒体であって、例えば、1.55μm波長帯を有する分散シフト光ファイバである。

合波器30は、光伝送路21、22を伝搬してきた1.3μm波長帯の信号光及び1.55μm波長帯の信号光を合波し、この合波光をて光ファイバ40へ出力する。光ファイバ40は、合波器30により合波された1.3μm波長信号光及び1.55μm波長帯の信号光を分波器50に向けた伝送する。分波器50は、光ファイバ40を伝搬してきた1.3μm波長帯の信号光及び1.55μm波長帯の信号光を分波する。

上記光ファイバ40は、上述された構造を有する、この発明に係る光ファイバであって、波長1.20μm～1.60μmの範囲に零分散波長が1つのみ存在し、その零分散波長は波長1.37μm～1.50μmの範囲(好ましくは波長1.37μm～1.43μmの範囲又は1.45μmよりも大きく1.50μm以下の範囲)にある。また、光ファイバ40において、該零分散波長における分散スロープの絶対値は0.10ps/nm²/km以下(好ましくは波長1.55μmにおいて0.06ps/nm²/km以下)である。また、より好ましい態様として、光ファイバ40は、波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に変化しており、波長1.3μm及び波長1.55μmにおける分散の絶対値は、いずれも1.2ps/nm/km以下、直径3.2mmにかかれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.5dB以下(好ましくは0.06dB以下)、波長1.55μmにおける実効断面積A_{eff}は4.5μm²以上(4.9μm²よりも大)、あるいは、波長1.38μmにおけるOH吸収に起因した伝送損失の増加は0.1dB/km以下である。

光伝送路61は、分波器50によって分波された1.3μm波長帯の信号光を

受信器 7 1 に導くための伝送媒体であつて、例えば、1. 3 μm 波長帯に零分散波長を有する標準的なシンクルモード光ファイバである。受信器 7 1 は、光伝送路 6 1 を伝搬してきた 1. 3 μm 波長帯の信号光を受信する。一方、光伝送路 6 2 は、分波器 5 0 により分波された 1. 5 μm 波長帯の信号光を受信器 7 2 に導くための伝送媒体であつて、例えば、1. 5 5 μm 波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバである。受信器 7 2 は、光伝送路 6 2 を伝搬してきた 1. 5 μm 波長帯の信号光を受信する。

この実施例に係る光伝送システムによれば、送信器 1 1 から出力され光伝送路 2 1 を経て合波器 3 0 に到達した 1. 3 μm 波長帯の信号光と、送信器 1 2 から出力され光伝送路 2 2 を経て合波器 3 0 に到達した 1. 5 5 μm 波長帯の信号光とは、合波器 3 0 により合波され、この合波光が光ファイバ 4 0 を伝搬して分波器 5 0 に到達する。そして、分波器 5 0 に到達した合波光は、分波器 5 0 により 1. 3 μm 波長帯の信号光と 1. 5 μm 波長帯の信号光に分波される。分波された 1. 3 μm 波長帯の信号光は光伝送路 6 1 を経て受信器 7 1 に到達し、1. 5 5 μm 波長帯の信号光は光伝送路 6 2 を経て受信器 7 2 に到達する。

このように、この実施例の光伝送システムで用いられている光ファイバ 4 0 は、上述のように 1. 3 μm 波長帯及び 1. 5 5 μm 波長帯の双方において好適な光通信を実現する構造を備えているため、該光ファイバ 4 0 が適用された当該光伝送システムは大容量の通信を可能にする。

なお、この発明に係る光ファイバは、上記実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、合波器 3 0 と分波器 5 0 との間に配置された伝送媒体である光ファイバ 4 0 は、図 1 8 B に示されたように、複数の光ファイバ 4 0 a ~ 4 0 c で構成されてもよい。

25 産業上の利用可能性

以上のようにこの発明によれば、当該光ファイバでは、OH吸収に起因した伝

送損失の増加が認められる波長 1. 3 8 μm を含む波長 1. 3 7 μm ~ 1. 5 0 μm の範囲、好ましくは波長 1. 3 7 μm ~ 1. 4 3 μm 又は波長 1. 4 5 μm よりも大きくかつ 1. 5 0 μm 以下の範囲に唯一の零分散波長が有し、この波長範囲を挿む 1. 3 μm 波長帯及び 1. 5 5 μm 波長帯近傍に零分散波長は存在しない。したがつて、これら波長帯域を信号光波長帯域と利用する場合、意図的な分散の発生により四光波混合等の非線形光学現象を効果的に抑制する。また、設定された零分散波長における分散スローフの絶対値は 0. 10 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下 (好ましくは波長 1. 5 5 μm において 0. 06 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$) であるから、1. 3 μm 波長帯及び 1. 5 5 μm 波長帯それそれにおける分散は均一化される。このような光ファイバを光伝送システムの伝送路に適用することにより、1. 3 μm 波長帯及び 1. 5 5 μm 波長帯の双方において良好な光通信が可能になる。

5 10 15 20

請求文の範囲

1. 波長1.20μm～1.60μmの範囲内に零分散波長を1つのみ有する光ファイバであつて、前記零分散波長は波長1.37μm～1.50μmの範囲内に存在することも

5 に、前記零分散波長において正である分散スローブを有する光ファイバ。

2. 前記零分散波長は、波長1.37μm以上1.43μm以下の範囲に存在することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

3. 前記零分散波長は、波長1.45μmよりも大きくなつて1.50μm以下の範囲に存在することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

10 4. 前記分散スローブは、その絶対値が0.10ps/nm²/km以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

5. 波長1.55μmにおいて、0.06ps/nm²/km以下の分散スローブを有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

15 6. 波長1.30μm～1.55μmの範囲において、前記分散スローブは単調に変化することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

7. 波長1.3μmにおける分散の絶対値と、波長1.55μmにおける分散の絶対値は、いずれも1.2ps/nm/km以下であることを特徴とする請求

10 項1記載の光ファイバ。

8. 波長1.3μmにおける分散の絶対値と、波長1.55μmにおける分散の絶対値は、いずれも6ps/nm/km以上であることを特徴とする請求項

15 7記載の光ファイバ。

9. 波長1.55μmにおいて、直径32mmで巻かれたときに0.5dB/ターン以下となる曲げ損失を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

10. 波長1.55μmにおいて、直径32mmで巻かれたときに0.06dB/ターン以下となる曲げ損失を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

11. 波長1.55μmにおいて、4.5μm²以上の実効断面積を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

12. 波長1.55μmにおいて、4.9μm²よりも大きい実効断面積を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

13. 波長1.38μmにおいて、OH吸収に起因した伝送損失の増加量は0.1dB/km以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

14. 純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が1%以下であつて最小値が-0.5%以上である屈折率プロファイルを有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

15. 純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が-0.2%以上である屈折率プロファイルを有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

16. 純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が-0.15%よりも大きい屈折率プロファイルを有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

17. 1.05μm以上のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

18. 1.30μm以上のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

19. 所定軸に沿つて伸びた所定の屈折率を有するコア領域と、前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

20. 前記クラッド領域は、前記コア領域の外周に接しつつ該コア領域より低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側

クラッドよりも高くかつ該コア領域よりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項1-9記載の光ファイバ。

21. 所定軸に沿つて伸びた領域であつて、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられた該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアとなるコア領域と、

前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

22. 前記クラッド領域は、前記第2コアの外周に接しつつ該第2コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第2コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項2-3記載の光ファイバ。

23. 所定軸に沿つて伸びた領域であつて、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられた該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられた該第2コアよりも高い屈折率を有する第3コアとからなるコア領域と、

前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

24. 前記第2コアの屈折率は、前記クラッド領域の屈折率と等しいかあるいは高いことを特徴とする請求項2-3記載の光ファイバ。

25. 前記クラッド領域は、前記第3コアの外周に接しつつ該第3コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドよりも高くかつ該第3コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項2-3記載の光ファイバ。

26. 前記第2コアの屈折率は、前記外側クラッドの屈折率と等しいかあるいは高いことを特徴とする請求項2-5記載の光ファイバ。

27. 所定軸に沿つて伸びた領域であつて、所定の屈折率を有する第1コア

と、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとからなるコア領域と、

前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

28. 前記クラッド領域は、前記第2コアの外周に接しつつ該第2コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドよりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項2-7記載の光ファイバ。

29. 所定軸に沿つて伸びた領域であつて、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられた該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられた該第2コアよりも低い屈折率を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられた該第3コアよりも高い屈折率を有する第4コアとからなるコア領域と、

前記コア領域の外周に設けられ、前記第4コアよりも低い屈折率を有するクラッドとを備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

30. 1. 3 μm波長帯の第1光を出力する第1送信器と、1. 55 μm波長帯の第2光を出力する第2送信器と、

前記第1送信器から出力された前記第1光と、前記第2送信器から出力された前記第2光を合波する合波器と、

一端が前記合波器に光学的に接続され、該合波器により合波された前記第1光及び前記第2光それを伝送する請求項1記載の光ファイバとを備えた光システム。

31. 波長1. 20 μm-1. 60 μmの範囲内に零分散波長を1つのみ有する光ファイバであつて、

前記零分散波長は、波長1. 37 μm-1. 50 μmの範囲内に存在することも、

前記零分散波長において正である分散スロープと、波長1.55μmにおいて、

4.9μm²よりも大きい実効断面積とを有する光ファイバ。

3.2. 波長1.20μm～1.60μmの範囲内に零分散波長を1つのみ有する光ファイバであって、

5 前記零分散波長は、波長1.45μmよりも大きくなつて1.50μm以下の範囲内に存在するとともに、

前記零分散波長において正である分散スロープを有する光ファイバ。

3.3. 波長1.20μm～1.60μmの範囲内に零分散波長を1つのみ有する光ファイバであって、

10 前記零分散波長は、波長1.37μm～1.50μmの範囲内に存在するとともに、

前記零分散波長において正である分散スロープと、波長1.55μmにおいて、直徑3.2mmで巻かれたときに0.06dB/ターン以下となる曲げ損失とを有する光ファイバ。

3.4. 波長1.20μm～1.60μmの範囲内に零分散波長を1つのみ有する光ファイバであって、

15 前記零分散波長は、波長1.37μm～1.50μmの範囲内に存在するとともに、

前記零分散波長において正である分散スロープと、1.05μm以上のカットオフ波長とを有する光ファイバ。

20 3.5. 前記カットオフ波長は、1.30μm以上であることを特徴とする請求項3.4記載の光ファイバ。

図1A

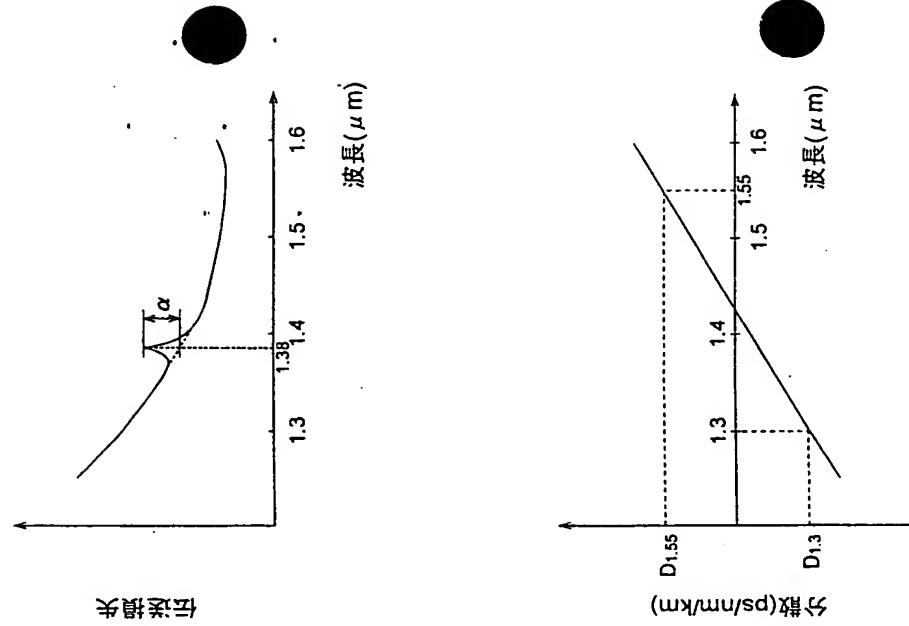
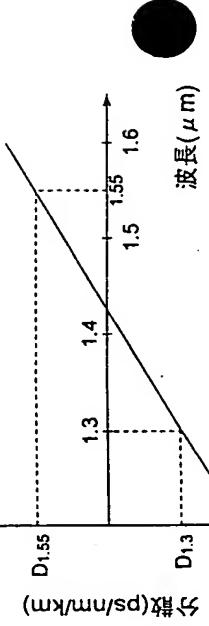


図1B



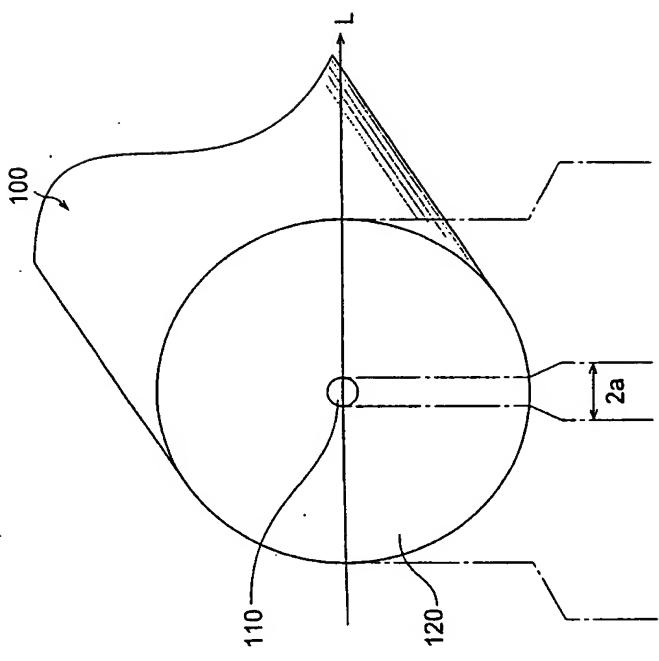


図2A

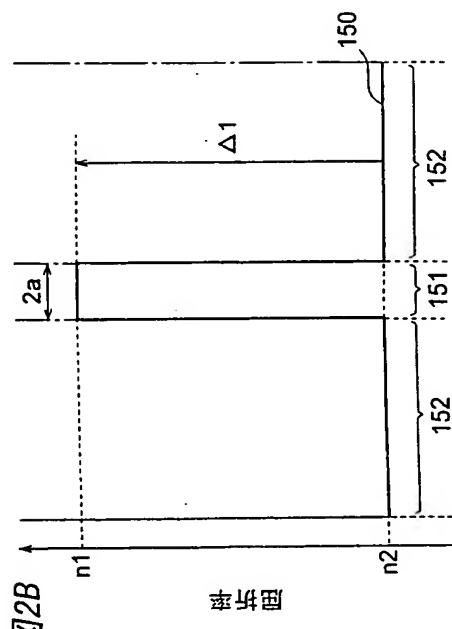


図2B

図3

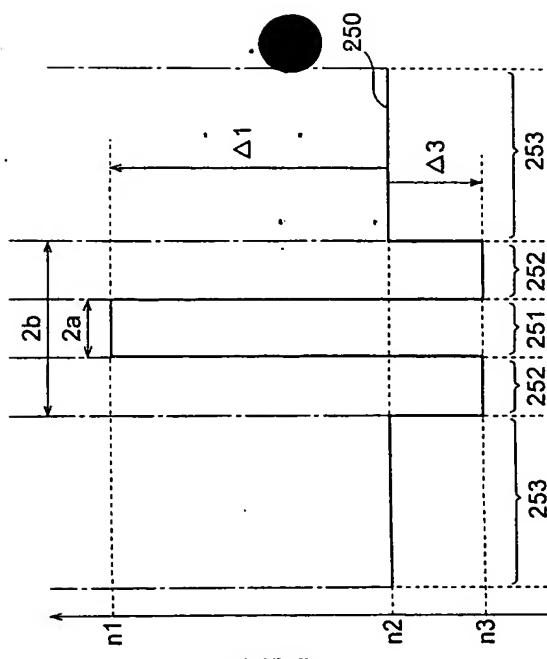


図4

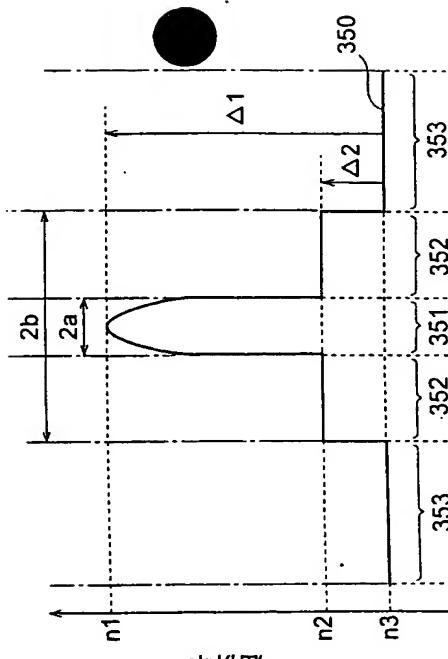


图5

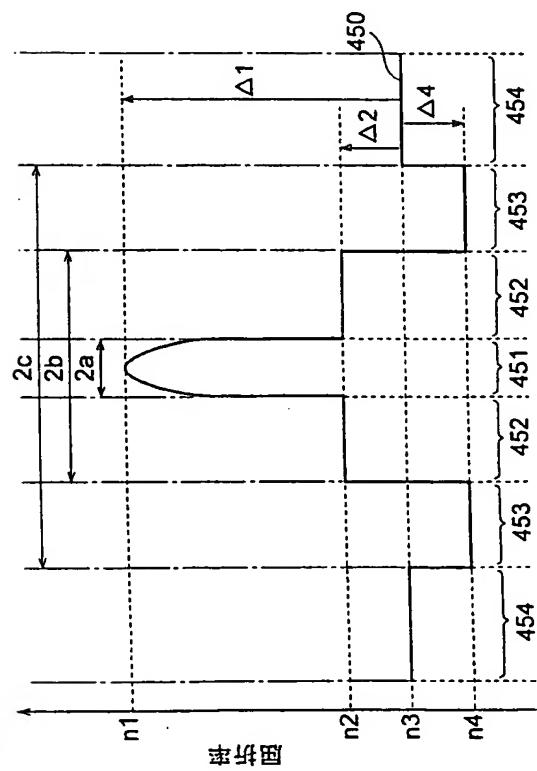


图7

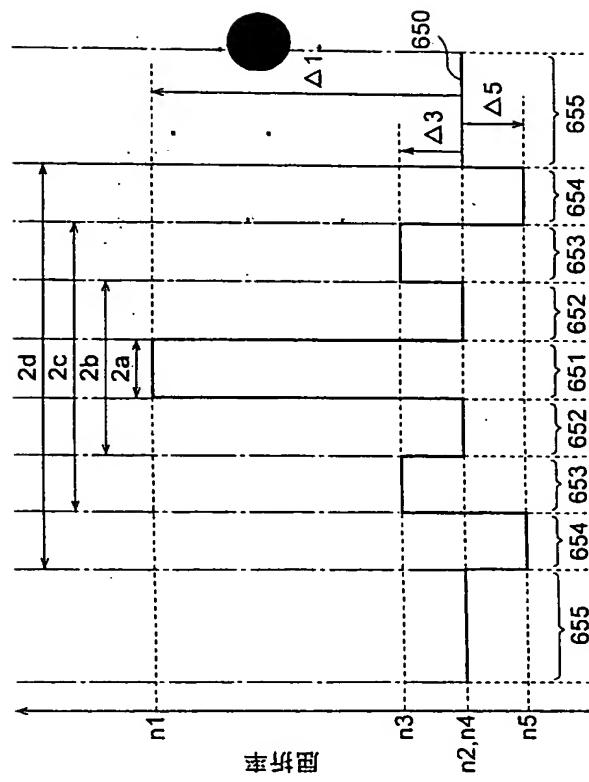


图6

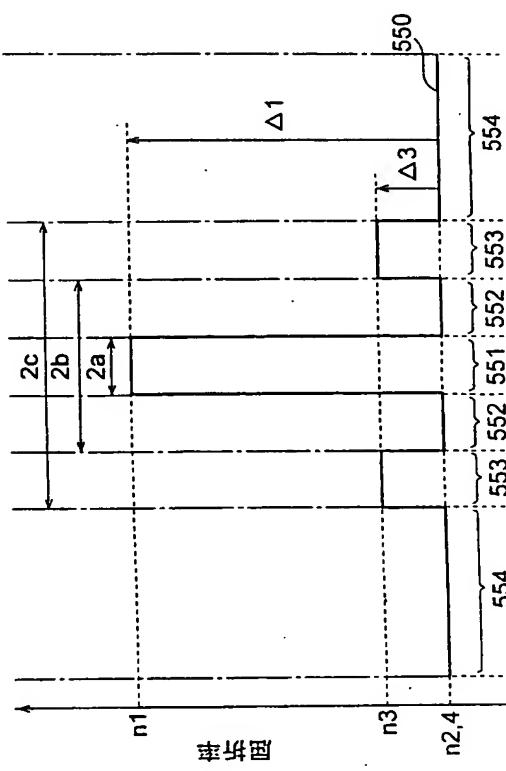
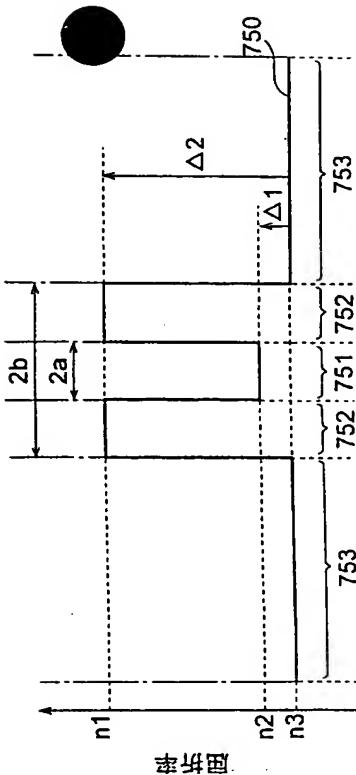
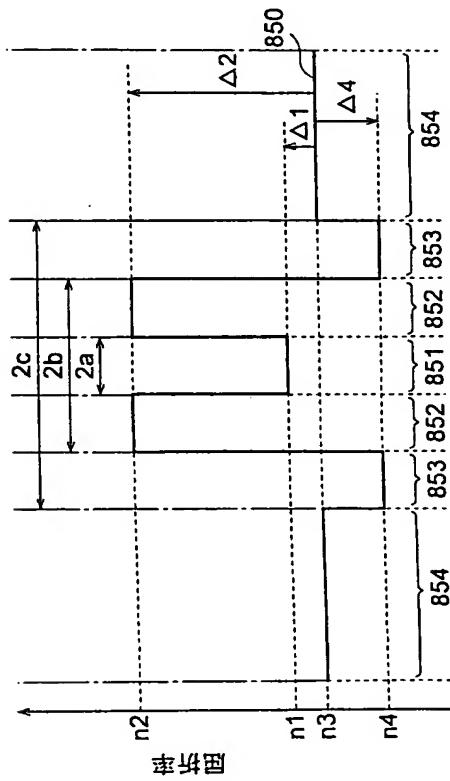


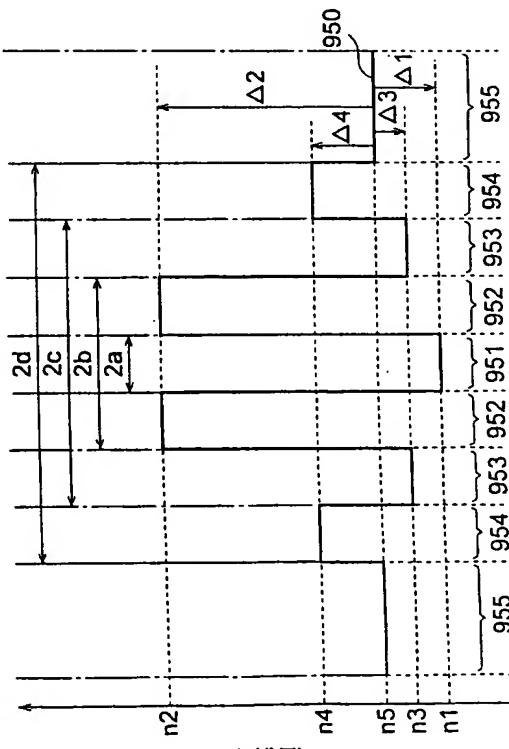
图8



9
EX



10



卷之三

導光束1550nm遮蔽面積 (μm^2)	0.00002	0.00006	0.02	0.00002	0.00006	0.01	0.00002	0.00006	0.02	0.00002	0.00006	0.01	0.00002	0.00006	0.02	0.00002	0.00006	0.01	0.00002	0.00006	0.01	0.00002	0.00006	0.01									
導光束1550nm遮蔽面積 (μm^2)	1.41	1.46	(1.457)	1.47	1.40	1.41	1.38	1.40	1.37	1.25	1.07	1.07	1.25	1.07	1.37	1.78	1.75	1.52	1.59	1.44	1.66	1.25	1.07	1.37	1.78	1.75	1.52	1.59	1.44	1.66			
導光束1550nm遮蔽面積 (μm^2)	0.065	0.060	0.065	0.071	0.058	0.040	0.047	0.040	0.059	0.065	0.060	0.055	0.065	0.071	0.058	0.040	0.047	0.043	0.046	0.023	0.052	0.057	0.059	0.065	0.071	0.058	0.040	0.047	0.043	0.046	0.023		
導光束1550nm遮蔽面積 (μm^2)	0.055	0.060	0.065	0.071	0.058	0.040	0.047	0.040	0.059	0.065	0.060	0.055	0.065	0.071	0.058	0.040	0.047	0.043	0.046	0.023	0.052	0.057	0.059	0.065	0.071	0.058	0.040	0.047	0.043	0.046	0.023		
導光束1550nm遮蔽面積 (μm^2)	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.39	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.41	1.40	1.39	1.40		
導光束1550nm遮蔽面積 (μm^2)	1.41	1.46	(1.457)	1.47	1.40	1.41	1.38	1.40	1.37	1.25	1.07	1.07	1.25	1.07	1.37	1.78	1.75	1.52	1.59	1.44	1.66	1.25	1.07	1.37	1.78	1.75	1.52	1.59	1.44	1.66	1.25	1.07	1.37

図 12

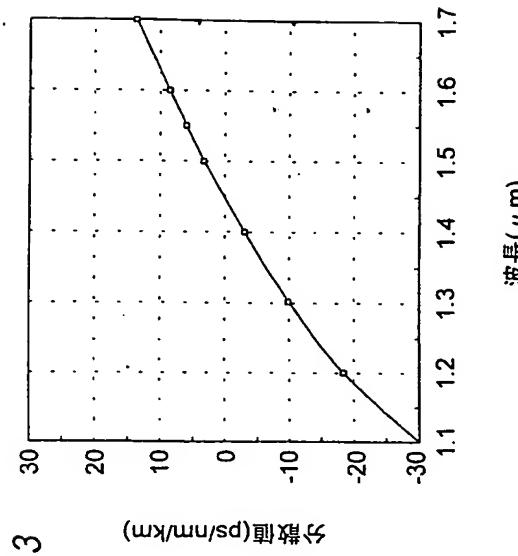


図 13

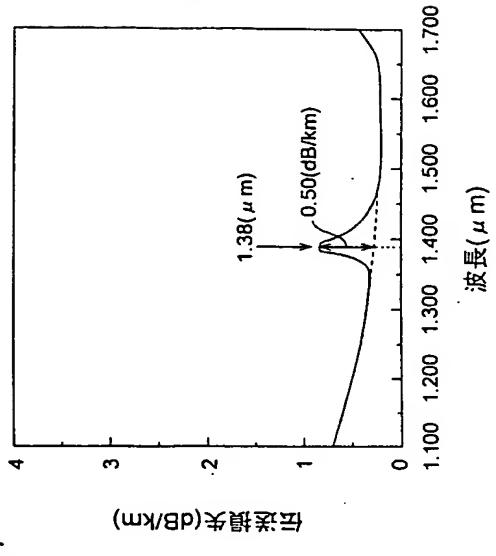


図 14

図15

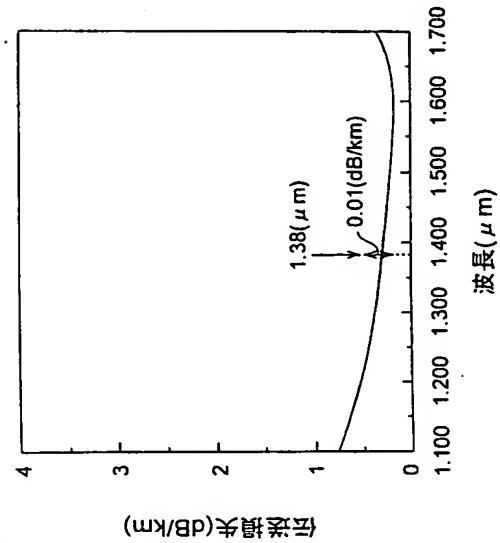


図17A

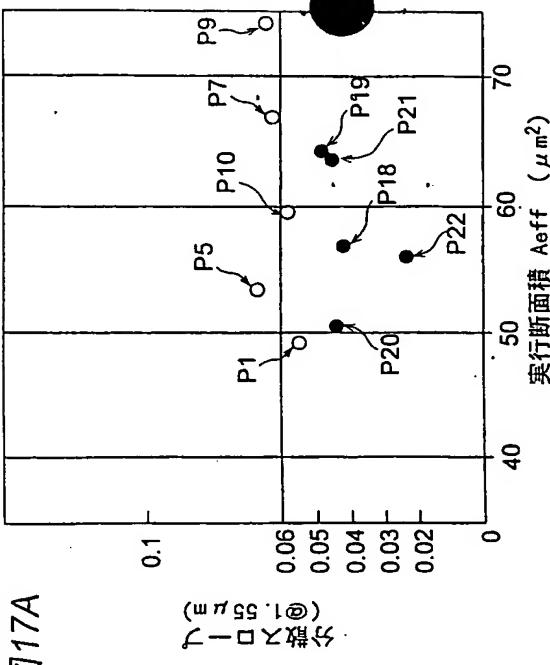
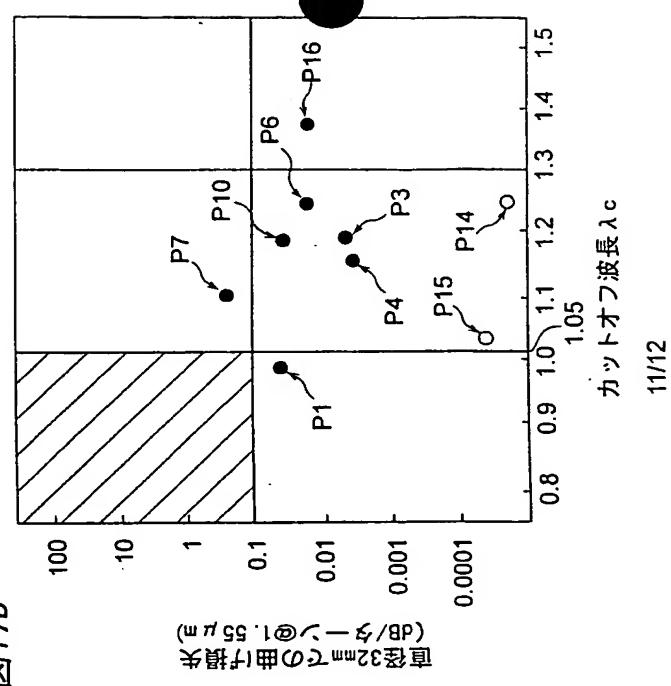


図17B



10/12

11/12

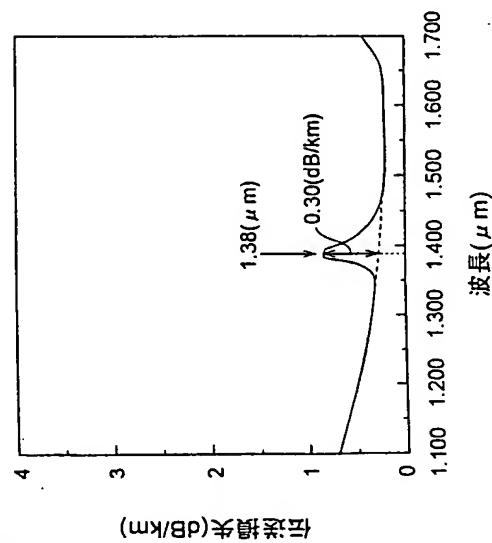
カットオフ波長 λ_c 

図16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/06611

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. C17 G02B 6/16

FIG 18A

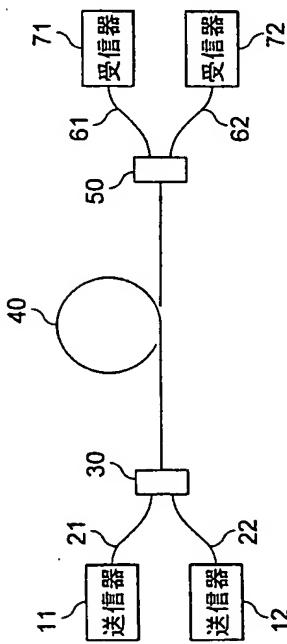
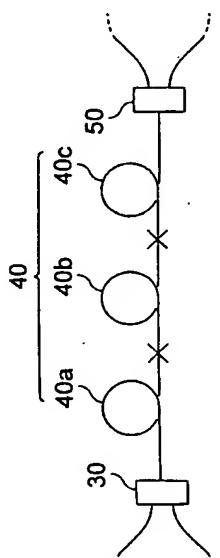


FIG 18B



According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.C17 G02B 6/00-6/54

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuya Shiran Koho 1922-1996 Toroku Jitsuya Shiran Koho 1994-1999
Kokai Jitsuya Shiran Koho 1971-1999 Jitsuya Shiran Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

[REDACTED]

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP, 862069, A2 (NIIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION), 15 August, 1997 (15.08.97), "Dispersion-shifted single-mode fiber for high-bit-rate and multiwavelength systems"; OEC '95 Technical Digest, ThH1, pp 259-260.. Especially, see Fig. 1, Table 1	1,1,6,9-12, 14-16, 19,27 31-33
Y	US, 5732178, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 24 March, 1998 (24.03.98), Column 5; lines 45 to 61; Figs. 1, 10 & JP, 9-211249, A	2,4-5,7-8, 13,17-18, 20-26,28, 29,34-35 30
A	BHAGAVATULA, V.A. ; "Dispersion-shifted single-mode fiber for high-bit-rate and multiwavelength systems"; OEC '95 Technical Digest, ThH1, pp 259-260.. Especially, see Fig. 1, Table 1	4-5,7-8, 17-18,27, 34-35
Y	US, 5732178, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 24 March, 1998 (24.03.98), Column 5; lines 45 to 61; Figs. 1, 10 & JP, 9-211249, A	9-10,21,33

 Further documents are listed in the continuation of Box C. Set patient family annex.

Later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

*X document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

*E earlier document published on or after the international filing date

*L document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

*O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

*P document published prior to the international filing date but later than the priority due claimed

Date of mailing of the international search report
18 February, 2000 (18.02.00) 07 March, 2000 (07.03.00)

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Faximile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP99/06611

C (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US, 5822488, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 13 October 1998 (13.10.98) & JP, 9-159856, A	9-10, 20-29, 33
Y	EP, 851245, A2 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 01 July, 1998 (01.07.98) & JP, 10-239550, A & CA, 2225889, A & TW, 355531, A & KR, 98064339, A	9-10, 20-29, 33
Y	EP, 656326, A2 (AT&T Corp.), 07 June, 1995 (07.06.95) & JP, 7-206462, A & US, 5397372, A & CA, 2118351, A & DE, 69411381, B	13
Y	JP, 10-53429, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 24 February, 1998 (24.02.98) (Family: none)	13
A	EP, 604767, A1 (Corning Inc.), 06 July, 1994 (06.07.94) & JP, 6-235839, A & AU, 5262993, A	17-18, 24-35
A	Masayuki Nishimura, "Multivavelength Optical Fiber"; O plus E, Vol.19, No.11 (series No.216) November, 1997, (Japan), Shin Gijutsu Communications issue, pp.143-148 especially, page 146, Fig.2	21-29
P,A	EP, 887670, A2 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.), 30 December, 1998 (30.12.98) & AU, 9871965, A & CA, 2240220, A & JP, 11-1171575, A & CN, 1221709, A	13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP99/06611

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
 - 1. because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
- Claims Nos.: because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
 - 2. because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
- Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6(4)(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The common matters of the inventions of claims 1 to 35 are the matters of claim 1, and the matters of invention of claim 1 are disclosed in EP, 852069, A2 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION), 15 August, 1997 (15. 08. 97), lines 29-37, column 9, and Fig.1, and do not make any contribution over the prior art.

Therefore, the common matters cannot be the "special technical features" described in the second sentence of PCT Rule 13.2. Hence the inventions of claims 1 to 34 do not meet the requirement of unity of invention.

- As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

- As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
- As all required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- No required additional search fees were timely paid by the applicant's protest.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

Form PCT/ISA/210 (continuation of first sheet (1)) (July 1992)
Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

国際調査報告		国際調査番号 PCT/JP99/06611			
A. 発明の属する分野(国際特許分類(IPC))	Int. C1, G02B 6/16	B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))	Int. C1, G02B 6/00-6/54		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの	日本国実用新案公報 1971-1996年 日本国公開実用新案公報 1994-1999年 日本国実用新案登録公報 1996-1999年	日本国実用新案公報 1992-1996年 日本国公開実用新案公報 1994-1999年 日本国実用新案登録公報 1996-1999年			
国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)					
C. 調査すると認められる文献	引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が調査するときは、その調査する箇所の表示	調査する 箇所の番号		
X	E.P. 8 6 2 0 6 9, A 2 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION), 1 5, 8 月, 1 9 9 7 (1 5, 0 8, 9 7), 全文, 全図, 特に、第9類、第25行-第53行, 第1, 13-15図 & J.P. 1 0 - 3 0 0 9 6 6, A&U.S. 5 9 6 3 7 0 0, A	1, 3, 6, 9-12, 14-16, 19-27, 31-33	4-5, 7-8, 17-18, 21-23, 26-28, 29, 34-35, 30		
Y		2, 4-5, 7-8, 13, 17-18, 20-26, 28, 29, 34-35, 30	1-2, 4-5, 7-8, 13, 17-18, 21-23, 26-28, 29, 34-35, 30		
A					
C欄の横きにも文献が引かれている。		□ パテントファミリーに属する別種を参照。			
* 引用文献のカテゴリー					
「A」特に調査する文献ではなく、一般的技術水準を示す					
「I」国際調査日前に公表された文献であつて、以後に公表されたものは特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの。					
「L」優先権主張を認められるが、国際出願日以後に公表された文献又は他の文献の発行日若しくは他の特許が理由を構成するために引用する文献					
「O」口頭による開示、使用、展示等に及ぶ文献					
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張となる出願					
国際調査を完了した日	18. 02. 00	国際調査報告の発送日	07.03.00		
国際調査の名前及びあて先	特許庁審査官(権利のある原目) 日本特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権利のある原目) 千葉田 駿 郵便番号 03-3581-1101 内線 3253			

C(横き)、 調査すると認められる文献 引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が調査するときは、その調査する箇所の表示	調査する 箇所の番号
Y	BHAGAVATLA, V. A. ; "Dispersion-shifted single-mode fiber for high-bit-rate and multiwave-length systems : OFC '95 Technical Digest, TH1, pp. 259-260, 特に、第1図, 表1 参照	4-5, 7-8, 17-18, 27, 34-35
Y	U.S. 5 7 3 2 1 7 8, A(Sumitomo Electric Industries, Lt d.), 2, 4, 3月, 1 9 9 8 (2 4, 0 3, 9 8), 第5欄, 第45行-第61行, 第1図, 第10図	9-10, 21, 33
Y	U.S. 5 8 2 2 4 8 8, A(Sumitomo Electric Industries, Lt d.), 1, 3, 10月, 1 9 9 8 (1 3, 1 0, 9 8) & J.P. 9-15 9 8 5 6, A	9-10, 21, 33
Y	E.P. 8 5 1 2 4 5, A 2 (Sumitomo Electric Industries, Lt d.), 1, 7月, 1 9 9 8 (0 1, 0 7, 9 8) & J.P. 1 0 - 2 3 9 5 5 0, A&CA, 2 2 2 5 8 8 9, A &TW, 3 5 6 5 3 1, A&KR, 9 8 0 6 4 5 3 9, A	9-10, 20-29, 33
Y	E.P. 6 5 6 3 2 6, A 2 (AT&T Corp.), 7, 6月, 1 9 9 5 (0 7, 0 6, 9 5) & J.P. 7 - 2 0 6 4 6 2, A&US, 5 3 9 7 3 7 2, A &CA, 2 1 1 8 3 5 1, A&DE, 6 9 4 1 3 1 8 1, E	13
Y	J.P. 1 0 - 5 3 4 2 9, A (住友電気工業株式会社) , 2 4. 2 月, 1 9 9 8 (2 4, 0 2, 9 8) (ファミリーなし)	13
A	E.P. 6 0 4 7 8 7, A 1 (Corning Inc.), 6, 7月, 1 9 9 4 (0 6, 0 7, 9 4) & J.P. 6 - 2 3 5 8 3 9, A&AU, 5 2 6 2 9 9 3, A	17-18, 34-35
A	西村正幸, 「波長多重用光ファイバー」; 0 plus E, Vol. 19, No. 1 (通巻第216号) 1月, 1 9 9 7 (日本), (株) 新技術コミュニケーションズ発行, pp. 143-148	21-29
P. A		13

第1種 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見(第1ページの2の続き)
法第8条第3項(PCT17条(2)(a))の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲_____つまり、

2. 請求の範囲_____は、從属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って正規されていない。

3. 請求の範囲_____は、從属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って正規されていない。

第1編 発明の出一性が欠加しているときの意見(第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の差別があるとこの国際調査報告は記めた。

請求の範囲1-3-5に記載された発明に共通する事項は、請求の範囲1に記載の事項であらざるところ、この請求の範囲1に記載の事項は、E.P. 8 6 2 0 6 9, A 2 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION), 15. 8月, 1997 (1. 5. 0. 8. 97), 第9欄、第29行-第37行、第14図に明示され、いろいろから、先行技術に対して何の貢献も果たしていない。
したがって、上記共通する事項は、PCT規則1.3、2の第2文の意味における「特別な技術的特徴」となり得ない。その結果として、請求の範囲1-3-4に記載された発明は、單一性の要件を満たしていない。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一額のみの額で期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあつた次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されたいる発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の算定について記載する注意

追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあつた。
 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかつた。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.